

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Факультет електроніки

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра звукотехніки та реєстрації інформації

(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ ” _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності (спеціалізації) 171 Електроніка (Електронні та інформаційні технології кінематографії та аудіовізуальних систем)

(код і назва спеціальності)

на тему: «Особливості переходу від безпроводових мереж 3 покоління до мереж 4 покоління».

Виконав студент VI курсу, групи ДВ-72мп

(шифр групи)

Устьянцев Микита Олексійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник к.т.н., доц. Лазебний В.С.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант

(назва розділу)

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент

(підпис)

Київ – 2018 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Інститут (факультет) _____ Факультет електроніки _____
(повна назва)

Кафедра _____ Кафедра звукотехніки та реєстрації інформації _____
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність (спеціалізація) 171 Електроніка (Електронні та інформаційні технології кінематографії та аудіовізуальних систем)
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

(підпис) (ініціали, прізвище)
«__» _____ 20__ р.

**ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Устьянцеву Микиті Олексійовичу**
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Особливості переходу від безпроводових мереж 3 покоління до мереж 4 покоління.

науковий керівник дисертації _____ к.т.н., доц. Лазебний В.С. _____,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «07» листопада 2018р. №4114-с

2. Строк подання студентом дисертації 10.12.2018р. _____

3. Об'єкт дослідження Об'єктом дослідження є безпроводові технології 3 та 4 покоління

4. Предмет дослідження (Вихідні дані – для магістерської дисертації за освітньо-професійною програмою) Предметом дослідження є методи та способи отримання якісного радіопокриття. Програмні пакети Atoll.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити Провести огляд безпроводових мереж 3 та 4 покоління. Зробити порівняльний аналіз за обраними технологіями. Змодельовати в програмі Atoll радіопокриття 3G UMTS та 4G LTE.

6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу 31 рисуноків у роботі, 25 таблиця, 1 графік, 1 презентація, 15 слайдів.

7. Орієнтовний перелік публікацій «Переваги безпроводової мережі 4 покоління над безпроводової мережі 3 покоління».

8. Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

9. Дата видачі завдання 13.09.2017

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
	Написання першого розділу: «Особливості 3G та 4G поколінь безпроводових мереж».	17.12.2017	
	Написання другого розділу: «Методика розрахунку та програмні засоби для моделювання безпроводових мереж».	25.03.2018	
	Написання третього розділу: «Розрахунок та моделювання безпроводових мереж у програмі Atoll».	16.09.2018	
	Написання четвертого розділу: «Розробка стартап проекту за темою магістерської дисертації».	21.10.2018	
	Підготовка матеріалів до друку та оформлення пояснювальної записки	18.11.2018	
	Підготовка та оформлення презентації для доповіді	26.11.2018	

Студент _____
(підпис)

М.О. Устьянцев
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації _____
(підпис)

В.С. Лазебний
(ініціали, прізвище)

* Консультантом не може бути зазначено наукового керівника

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація: 96 с., 31 рис., 25 табл., 1 граф., 1 дод., 11 джерел.

**3G UMTS 4G LTE, МІМО, БАЗОВА СТАНЦІЯ, ПОКРИТТЯ, КАНАЛ,
СМУГА ПРОПУСКАННЯ, ПІДНОСІЙНА, ЧАСТОТА, ПЛАНУВАННЯ, РІВЕНЬ
СИГНАЛУ**

Метою дипломної роботи є дослідження характеристик безпроводової мережі зв'язку 3G UMTS та 4G LTE із застосування програмного середовища Atoll.

Результатом роботи є розраховані основні параметри мережі 3G UMTS та 4G LTE, серед яких радіус стільника, кількість базових станцій для заданої території, та карти радіопокриття за рівнем сигналу та за пропускну здатністю.

Результати проведеної роботи можуть бути використані під час планування, проектування і оптимізації безпроводової мережі 3G UMTS та 4G LTE на певній території для надання послуг передавання голосу, даних та широкосмугового доступу в Інтернет.

SUMMARY

Master's thesis: 96 pages, 31 pictures, 25 tables, 1 graph, 1 supplement, 11 sources.

3G UMTS 4G LTE, MIMO, BASE STATION, COVERAGE, CHANNEL, REMOVAL, INTERFACE, FREQUENCY, PLANNING, SIGNAL LEVEL

The purpose of the thesis is to study the characteristics of 3G UMTS and 4G LTE wireless communication networks using the Atoll software environment.

As a result of the work, the main parameters of the 3G UMTS network and 4G LTE network are calculated, including the radius of the cell, the number of base stations for the specified area, and the radio coverage map by signal level and bandwidth.

The results of the work can be used to plan, design and optimize 3G UMTS and 4G LTE wireless networks in a certain area for the provision of voice, data and broadband Internet services.

Зміст

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	8
ВСТУП.....	11
1 ОСОБОЛИВОСТІ 3G ТА 4G ПОКОЛІНЬ БЕЗПРОВОДОВИХ МЕРЕЖ.....	13
1.1 Безпроводова мережа 3 покоління	13
1.2 Безпроводова мережа 4 покоління	15
1.3 Переваги технології 4G над 3G та технологіями	18
1.4 Загальна структура мережі LTE (Long Term Evolution).....	24
1.5 Архітектура базової мережі SAE.....	27
1.6 Радіочастотні аспекти мережі LTE.....	30
1.7 Організація багатостанційного доступу	31
1.7.1 OFDM	32
1.7.2. OFDMA	33
1.7.3 SC-FDMA у висхідному каналі	34
1.8 Технологія багатоантенної передачі MIMO.....	38
2 МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ТА ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ БЕЗПРОВОДОВИХ МЕРЕЖ.....	42
2.1 Atoll.....	42
2.2 Загальні підходи до проектування та дослідження високошвидкісних безпроводових мереж	46
2.3 Проектування та дослідження високошвидкісних безпроводових мереж LTE	48
3 РОЗРАХУНОК ТА МОДЕЛЮВАННЯ БЕЗПРОВОДОВИХ МЕРЕЖ У ПРОГРАМІ ATOLL.....	51
3.1 Вихідні дані для моделювання. Розрахунок необхідної кількості базових станцій для 3G UMTS	51
3.2 Вихідні дані для моделювання. Розрахунок необхідної кількості базових станцій для 4G LTE.....	53
3.3 Моделювання радіопокриття у програмі Atoll для 3G UMTS	54
3.4 Моделювання радіопокриття у програмі Atoll для 4G LTE	60
4 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ ЗА ТЕМОЮ МАГІСТРЕСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ	69

4.1 Опис ідеї проекту	69
4.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	71
4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	72
4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту	78
4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	80
ВИСНОВКИ.....	85
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	87
ДОДАТОК А.....	89

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

3GPP	–	3rd Generation Partnership Project (проект партнерства третього покоління);
AAS	–	Adaptive Antenna System (адаптивна антенна система);
ACP	–	Automatic Cell Planning (автоматичне планування стільників);
AFP	–	Automatic Frequency Planning (автоматичне частотне планування);
DL	–	Downlink (лінія вниз);
DTM	–	Digital Terrain Model (цифрова карта місцевості);
EUL	–	Enhanced Uplink (вдосконалений висхідний канал);
E-UTRAN	–	Evolved UTRAN (вдосконалена UTRAN);
FDD	–	Frequency Division Duplex (дуплекс з частотним розділенням);
FFT	–	Fast Fourier Transform (швидке перетворення Фур'є);
HSDPA	–	High-Speed Downlink Packet Access (високошвидкісна пакетна передача даних у низхідному каналі);
HSPA	–	High Speed Packet Access (високошвидкісна пакетна передача даних);
HSUPA	–	High-Speed Uplink Packet Access (високошвидкісна пакетна передача даних у висхідному каналі);
IEEE	–	Institute of Electrical and Electronics Engineers (інститут інженерів з електротехніки і електроніки);
LTE	–	Long Term Evolution (довгостроковий розвиток);
MIMO	–	Multiple Input Multiple Output (множинний вхід – множинний вихід, декілька передавальних і декілька приймальних антен);
MISO	–	Multi Input Single Output (множинний вхід – одиничний вихід);
Multi-RAT	–	Multi Radio Access Technologies (технології мульти-радіодоступу);

MU-MIMO	–	Multiuser MIMO (багатокористувацький MIMO);
ODBC	–	Open Database Connectivity (відкрите з'єднання з базою даних);
OFDM	–	Orthogonal Frequency-Division Multiplexing (мультиплексування з ортогональним частотним розділенням каналів);
OFDMA	–	Orthogonal Frequency-Division Multiple Access (множинний доступ з ортогональним частотним розділенням каналів);
PUSC	–	Partially Used Sub-Carrier (часткове використання підносійних);
QAM	–	Quadrature Amplitude Modulation (квадратурно-амплітудна модуляція);
QoS	–	Quality of Service (якість обслуговування);
RBS	–	Radio Base Station (радіо базова станція);
SC-FDMA	–	Single Carrier Frequency Division Multiple Access (ортогональний множинний доступ з частотним розділенням каналів на одній носійній частоті);
Single-RAT	–	Single Radio Access Technologies (технології одиничного радіо доступу);
SQL	–	Structured Query Language (мова структурованих запитів);
SUI	–	Stanford University Interim (модель Стенфордського університету);
SU-MIMO	–	Single-User MIMO (однокористувацький MIMO);
TD-SCDMA	–	Time Division Synchronous Code Division Multiple Access (множинний доступ з синхронним кодовим і часовим розділенням);
TDD	–	Time Division Duplex (дуплекс з часовим розділенням);
TMA	–	Tower Mounted Amplifier (підсилювач на антенній вищці);
TRX	–	Transmit-Receive (прийомо-передавачі);

UL	–	Uplink (лінія вгору);
UTRAN	–	Universal Terrestrial Radio Access Network (наземна мережа радіодоступу стандарту UMTS);
WAN	–	Wide Area Network (глобальні мережі);
WCDMA	–	Wideband Code Division Multiple Access (широкосмутовий кодовий доступ з кодовим розділенням);
WGS	–	World Geodetic System (світова геодезійна система);
АС	–	абонентська станція;
БС	–	базова станція;
ГІС	–	геоінформаційна система;
ДНАОП	–	державні нормативні акти з охорони праці;
ДСН	–	державні санітарні норми і правила;
ЕОМ	–	електронно-обчислювальна машина;
КПО	–	коефіцієнт природньої освітленості;
ЛЕП	–	лінії електропередачі;
НВЧ	–	надвисокі частоти;
ПРХ	–	поширення радіохвиль;
РЕЗ	–	радіоелектронний засіб;
РРЛ	–	радіорелейні лінії.

ВСТУП

Актуальність роботи. Проблеми планування мереж виникли з початку їх масового розгортання. Труднощі полягають у розрахунку теоретичного покриття території, прогнозування ступеню завантаження мережі, розподілення частот, врахування особливостей антенного обладнання, розподілу щільності населення, допустимі втрати в різних класах місцевості тощо. Тому іноді мережі працюють не оптимально, а значення фактичних вимірювань якості мережі значно відрізняються від теоретично розрахованих.

Для вирішення проблеми планування нових, оптимізації існуючих мереж та виконання вимірювань і прогнозів використання мереж були створені програмні засоби, які значно спрощують виконання вищезазначених дій. Саме до таких рішень належить програма Atoll від компанії Forsk, що розглядається у роботі.

Серед переваг використання програмного засобу – можливості, які пропонуються користувачу. Розробники пропонують виконувати побудову на цифровій карті місцевості, при моделюванні і оптимізації покриття враховуються базові і розширені можливості, такі як моделі поширення радіохвиль, тип місцевості, інтерференція, розподіл щільності населення, допустимі втрати в різних класах місцевості, коефіцієнти підсилення антен і їх діаграми спрямованості, кути нахилу антен, втрати у приймально-передавальному обладнанні тощо. Під час виконання досліджень розробнику надається цілий спектр інструментів, а саме: моделювання різних типів трафіку, трафік від стаціонарних і мобільних користувачів, різні алгоритми моделювання, обчислення ємності мережі та багато іншого. Програмне забезпечення Atoll включає в себе інструменти автоматичного частотного планування та автоматичного планування стільників, які можуть значно прискорити і полегшити планування.

Всі переваги програмного засобу зумовлюють його використання, тому що це досить перспективно, так як вирішується головна проблема операторів мобільних мереж – модифікація вже існуючих мереж, а також на достатньому рівні задовольнити потреби розрахунку покриття для мереж нових стандартів.

Багато операторів у розвинених країнах успішно використовують Atoll та подібні програмні засоби, серед них і оператори України. Тому аналіз можливостей і особливостей використання спеціалізованих засобів при плануванні і оптимізації є актуальним.

Метою роботи є дослідження характеристик безпроводової мережі 3G UMTS та 4G LTE за допомогою програмного засобу Atoll.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

проаналізувати особливості технології 3G UMTS у порівнянні з 4G LTE;

дослідити технічні засоби проектування та моделювання широкосмугової безпроводової мережі зв'язку 3G UMTS та 4G LTE;

проаналізувати методику проектування безпроводової мережі зв'язку та з'ясувати основні етапи проектування 3G UMTS та 4G LTE за допомогою програмного засобу Atoll;

визначити основні параметри мережі 3G UMTS та 4G LTE;

виконати моделювання за допомогою програмного засобу Atoll за допомогою технологій 3G UMTS та 4G LTE;

на основі результатів моделювання зробити висновки щодо якості покриття із застосуванням розгорнутого розрахунку параметрів мережі.

Об'єктом дослідження є безпроводова широкосмугова телекомунікаційна мережа 3G UMTS та 4G LTE.

Практичним результатом роботи є карти радіопокриття за рівнем сигналу та за пропускну здатністю, яке забезпечує мережа 3G UMTS та 4G LTE в умовах великого міста, та обчислені основні параметри цієї мережі.

Новизною одержаних результатів даної роботи є розгорнутий підхід від ручних розрахунків параметрів мережі до використання напівавтоматизованого процесу за допомогою програмного комплексу Atoll, що надає більші можливості операторам стільникового зв'язку в процесі планування мережі.

1 ОСОБОЛИВОСТІ 3G ТА 4G ПОКОЛІНЬ БЕЗПРОВОДОВИХ МЕРЕЖ

1.1 Безпроводова мережа 3 покоління

3G насправді означає "третє покоління", оскільки це третій тип технології доступу, який був широко доступний для підключення мобільних телефонів. 3G є можливим завдяки двом взаємодоповнюючим технологіям: HSDPA і HSUPA (високошвидкісний завантаження та завантаження пакетного доступу, відповідно). Ці технології дозволяють мобільним широкосмуговим користувачам отримувати доступ до швидкості завантаження понад 2 Мбіт/с.

Зв'язок третього покоління вже давно стала звичною для кожного з нас. Основною перевагою 3-го покоління в порівнянні з попереднім є істотно збільшена швидкість передачі даних, полегшений доступ до мультимедіа і доповнення оновленими опціями роумінгу. 3G дозволяє з'єднувати смартфони з Інтернет-мережами, покращуючи якість відеозв'язку і телефонії за участю спеціалізованих додатків, типу Скайпу, Вайбера тощо. Така швидкість забезпечує комфортні відеоконференції за участю кількох користувачів і стабільну телефонний зв'язок з паралельним використанням Інтернету. Але мало хто знає, що у відповідності зі специфікацією МСЕ (Міжнародного Союзу Електрозв'язку), бездротовий зв'язок 3G обов'язково повинна мати такі характеристики:

- Мінімальна швидкість передачі даних для пристроїв, які не рухаються, становить не менше 2 Мбіт в секунду;
- Для пристроїв і об'єктів, які переміщуються з малою швидкістю, до 3-х км/год, швидкість передачі даних складає 348 Кбіт / сек .;
- Для тих пристроїв, які рухаються з високою швидкістю, до 120 км / год, швидкість становить 144 Кбіт / сек[1].

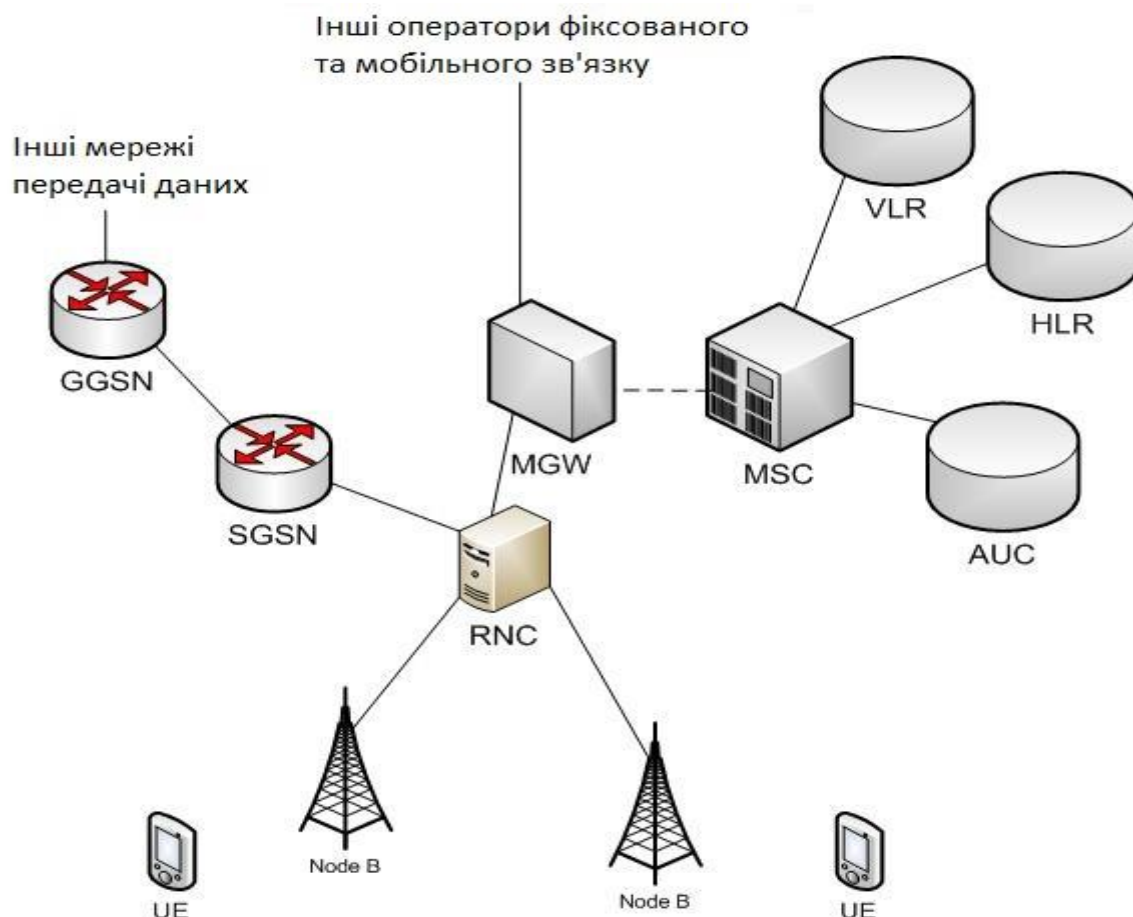


Рисунок 1.1 – Структура безпроводової мережі 3 покоління

Не можна не відзначити і значне поліпшення якості зв'язку завдяки використанню технології handover, що забезпечує плавний перехід з одного стільника (зони дії мережі) в інший. Це дозволяє істотно поліпшити рівень зв'язку в момент переміщення. У процесі руху користувач видаляється від однієї радіостанції, наближаючись при цьому до іншої. І для того, щоб виключити обрив зв'язку в момент руху була здійснена технологія (handover), яка надає можливість плавно зменшувати сигнал від станції, яка видаляється, при цьому збільшувати сигнал від наближається станції радіозв'язку, це забезпечує стабільність, і запобігає розриви в моменти перемикань.

1.2 Безпроводова мережа 4 покоління

Міжнародний телекомунікаційний союз (англ. International Telecommunication Union, ITU) до стандартів четвертого покоління відносить стандарти мобільної передачі затверджені у специфікації ITM-Advanced у жовтні 2010 року[2].

21 жовтня 2010 року в Женеві Міжнародний телекомунікаційний союз (ITU) завершив проведення оцінки шести технологій, представлених у якості можливих технологій міжнародного мобільного безпроводового зв'язку 4G, також відомої як IMT-Advanced. Результатом узгодження цих пропозицій двом технологіям було присвоєно офіційне визначення IMT-Advanced:

- LTE Advanced;
- WirelessMAN Advanced.

Це дозволяє їх кваліфікувати у як справжні технології 4G.

Як і 3G, мережі 4G є IP-адресою (Інтернет-протоколом), що означає, що він використовує стандартний протокол зв'язку для надсилання та отримання даних у пакетах. Однак, на відміну від 3G, 4G використовує IP навіть для голосових даних. Це все IP стандарт. Використовуючи ці стандартизовані пакети, ваші дані можуть перетинати всі види мереж, не будучи розбиті чи пошкоджені. Щоб надсилати та отримувати пакети, спершу ваш телефон повинен з'єднатися з базовою станцією.

Можливо, що швидкість 4G може йти набагато швидше, але наразі можна ігнорувати ті швидкості 100 Мбіт/с, які пропускаються на Intertubes. Це теоретичні показники, які в найближчому майбутньому не відбудуться в реальному світі.

4G має більшу ємність, тобто вона може підтримувати більшу кількість користувачів у будь-який момент часу. Це підвищує швидкість передачі даних, тому мультимедійні програми, такі як відео дзвінки або кліпи YouTube, працюють більш плавно. З баштою 3G приблизно 60-100 людей можуть поділитися сигналом і отримати швидкий, надійний сервіс. Однак 4G LTE (Long Term Evolution) башта може обслуговувати близько 300 або 400 людей.

І функції 4G зменшують затримку. З меншим часом очікування, або затримки, побачимо більш безпосередню відповідь на команди, що особливо корисно, коли граємо швидкі онлайн ігри, дистанційно керуємо автомобілем або роботом. Мережа, яка кваліфікується як швидкість в режимі реального часу, має затримку 50 мс (Мілі секунди) або менше; 4G LTE має затримку всього близько 20-40 мс[3].

Переліки ITU вважають лише два формату "справжніми технологіями 4G": LTE (Long Term Evolution Advanced) та WiMAX Release 2.

Радіоінтерфейси мають один загальний елемент - всі вони координують мережевий трафік, повідомляють пристрої, коли надсилати та отримувати дані. Але вони відрізняються тим, як вони виконують це завдання.

Система WiMAX аналогічна домашньому або офісному WiFi-протоколу. Вона значною мірою впала на межі, оскільки оператори вибирають інші інтерфейси, такі як LTE і HSPA +.

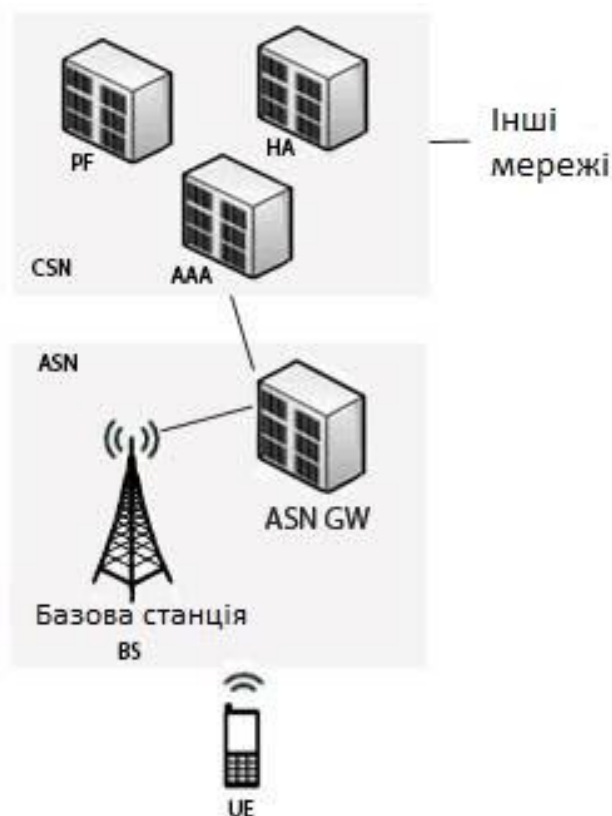


Рисунок 1.2 – Структура безпроводова мережі 4 покоління (WiMAX)

За допомогою LTE пристрої можуть передавати та отримувати одночасно, оскільки вони використовують різні частоти для цих завдань. LTE використовує OFDM (мультиплексування з ортогональним розділенням частот), який розподіляє сигнал на паралельні потоки даних, які переміщують радіоканали. Цей сигнал з'єднується процесорами на іншому кінці.

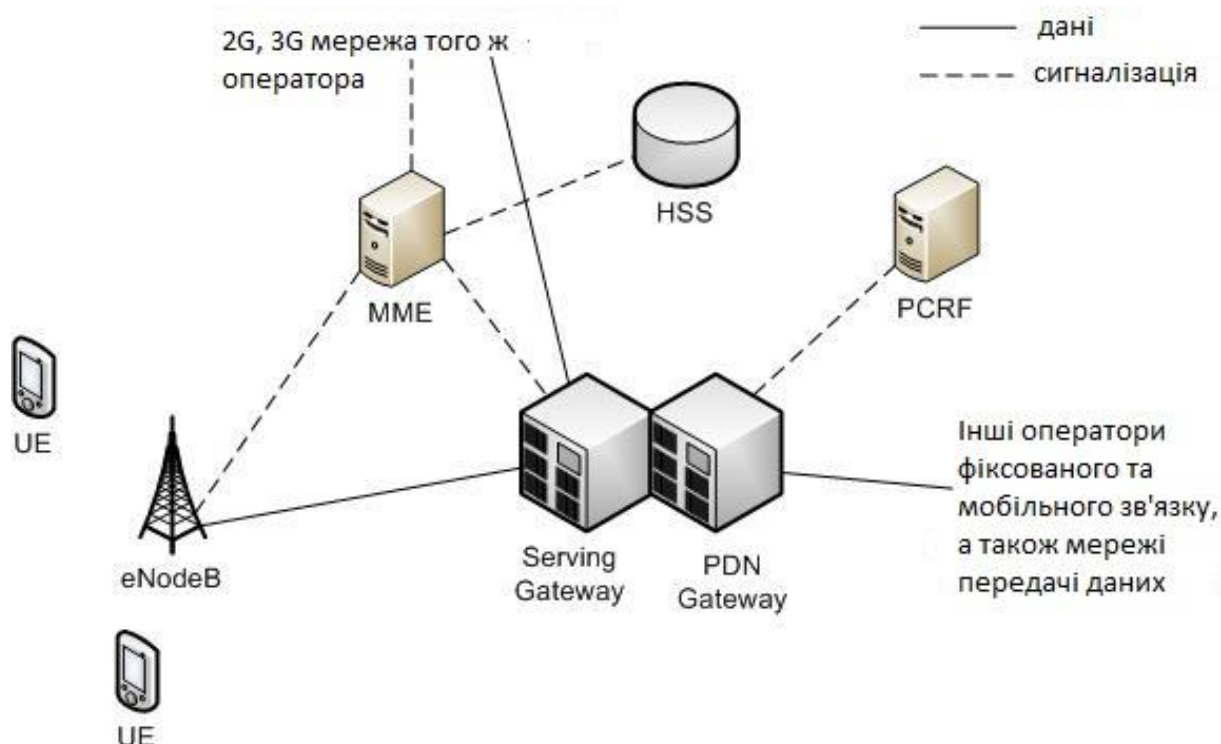


Рисунок 1.3 – Структура безпроводова мережі 4 покоління (LTE)

LTE (і HSPA+) також використовує інший метод під назвою MIMO (multiple input multiple output). MIMO спирається на декілька антен та передавачів у телефоні та на базовій станції, а також забезпечує одночасну передачу даних та завантаження.

HSPA+ сумісний зі старими системами 3G. LTE - ні. Але HSPA+ не є способом майбутнього. Скоріше, це метод для стиснення більшого життя від існуючої інфраструктури.

LTE, однак, буде на деякий час. Мережі LTE називаються довгостроковій еволюції, оскільки перевізники хочуть тривалий час користуватися цією технологією, а не витратити кошти на оновлення інфраструктури кожні кілька років. LTE вважається гарним довгостроковим варіантом, оскільки його простіше для збільшення потужності та продуктивності.

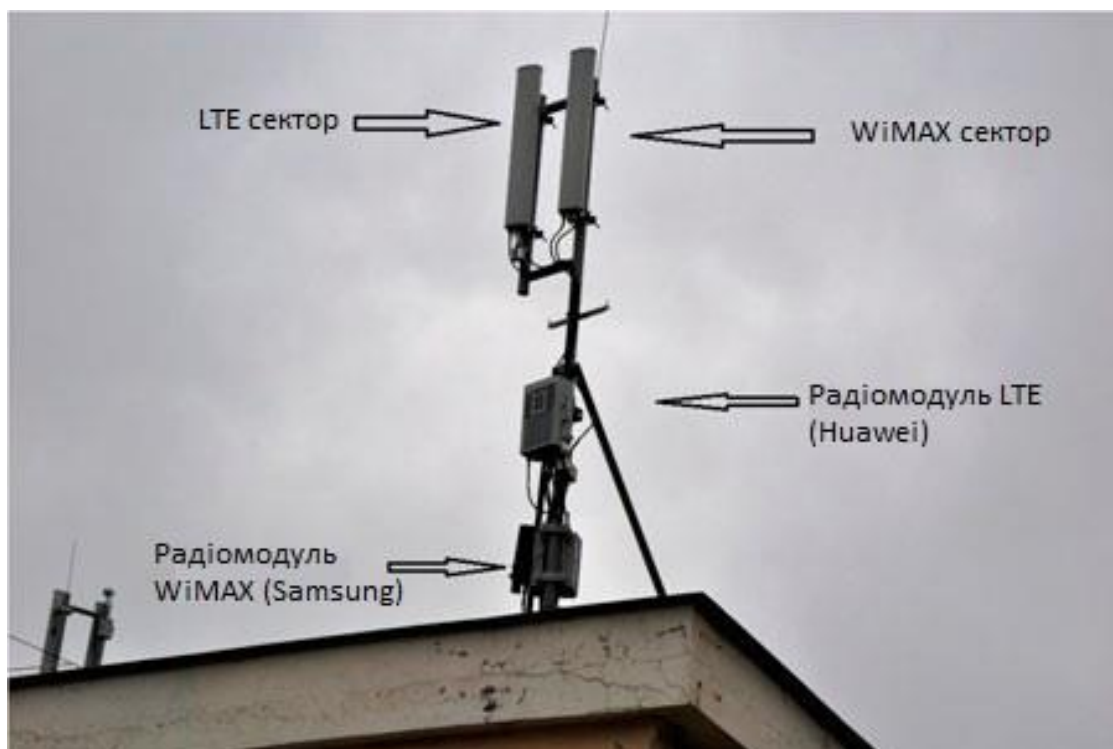


Рисунок 1.4 – Базова станція безпроводова мережі 4 покоління

1.3 Переваги технології 4G над 3G та технологіями

Архаїчна 1G і 2G мережі дурні, технологічно кажучи. Але 4G мережі - це, у певному сенсі, інтелектуальні машини. Наприклад, вони краще оснащені, щоб мати справу з несподіваною заторів, викликаних випадковими світовими подіями, такими як пробки. Коли тисячі людей раптово застрягли на шосе, вони починають користуватись своїми

телефонами, що викликає значне зростання попиту на послуги передачі даних у цій галузі.

У цій ситуації 3G-системи висміюють і спотикаються, залишаючи користувачів розчарованими. Більш витончені, самоорганізовані та самоконфігуруючі системи 4G, однак, можуть компенсувати витрати на льоту та забезпечувати швидший сервіс для більшої кількості людей. Аналогічним чином, перебої з електроживленням та збої обладнання часто піддають калібруванню систем 3G. Але завдяки датчикам та сучасному програмному забезпеченню система 4G має самозагоювальні можливості, які дозволяють маршрутизувати трасі через інші вежі, доки не будуть проведені ремонтні роботи.

Переваги 3G проти 4G.

Загалом, 4G має бути швидше, ніж 3G, але це не завжди так. 3G має набір стандартів, що гарантують мінімальну швидкість, тоді як стандарти для 4G все ще розвиваються і ще не точно визначені.

Тому 3G можна вважати більш надійним, оскільки можна очікувати, що він буде працювати відповідно до цих стандартів. 4G може бути набагато швидшим, але також менш надійним, особливо в перших його втіленнях. Хоча компанії можуть рекламувати 4G, воно може не відповідати поточним стандартам 4G. 3G також більш широко доступний, особливо в Африці, у порівнянні.

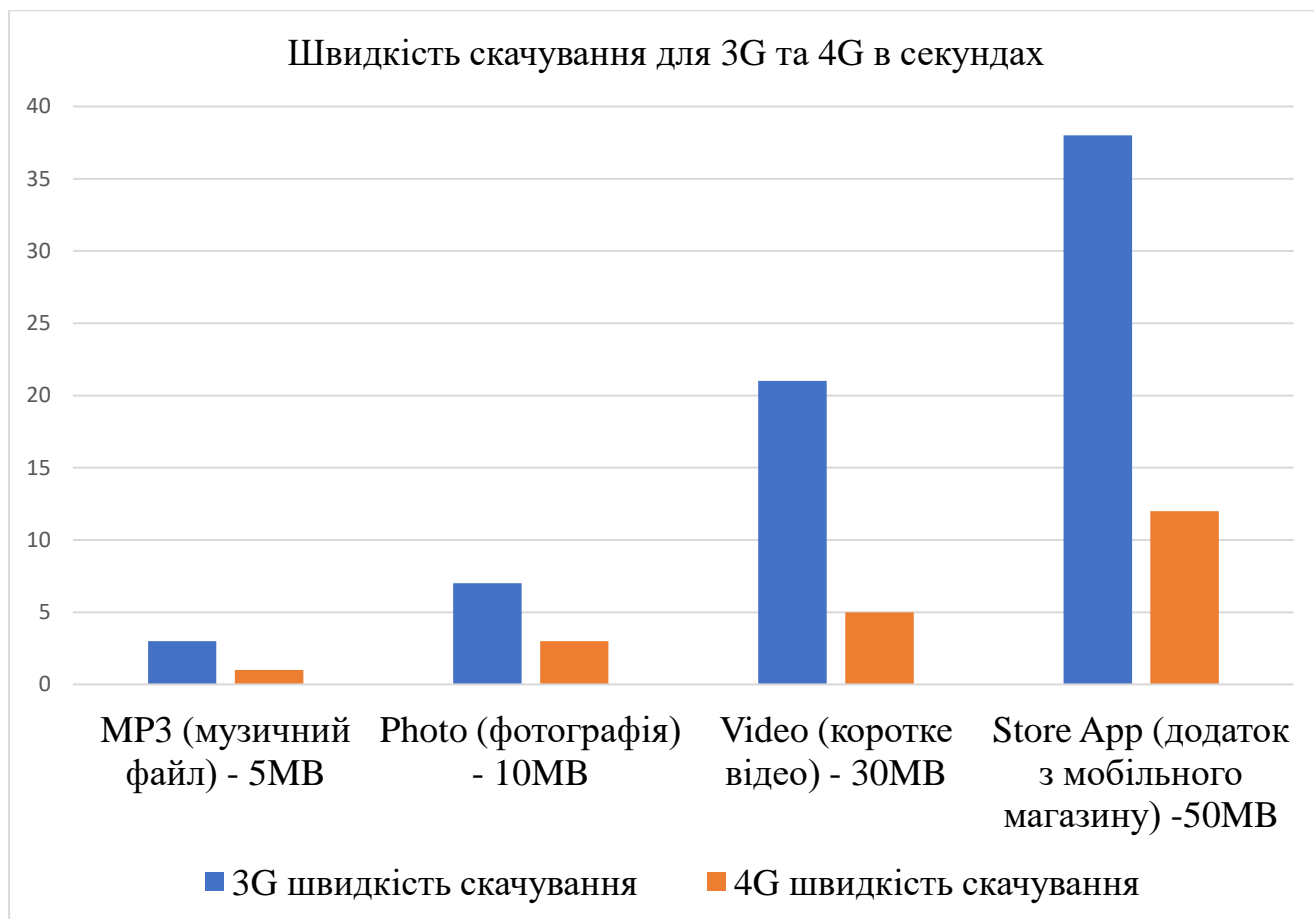
Переваги 4G проти 3G.

Коли мережа 4G досягає стандарту, користувачі користуються перевагами збільшеної швидкості, що означає, що веб-сайти завантажуються швидше, простіше грати на носії, такі як відео та MP3-файли тощо. 4G також послідовно швидше з передачею даних і пропонує набагато швидший варіант при використанні мобільної точки доступу. 4G також буде більш стійким покриттям в областях, які могли б боротися з 3G. Хоча це дещо менш доступно в міжнародному масштабі, 4G все ще можна знайти в більшості країн[4].

Крім того, 4G є швидко зростаючою службою, яка в кінцевому підсумку досягне такої ж глобальної насиченості як 3G. Інвестування в 4G зараз, по суті, є інвестицією в найближчому майбутньому. Як компанії вдосконалюють свої 4G пропонування, 3G, в кінцевому рахунку, стане застарілим (як і вся технологія, коли стандарти стають більшими, кращими або більш швидкими).

Вони обидва мобільного з'єднання для передачі даних, але 3G є більш старою технологією, яка зазвичай забезпечує більш низьку швидкість. 4G є новою технологією, яка має потенціал для реалізації більш високих швидкостей.

- 4G може досягти швидкості до 50 Мбіт / с - у 10 разів швидше, ніж більшість 3G-з'єднань
- 4GX або 4G LTE і за її межами можуть досягти швидкості до 400 Мбіт / с
- 3G доступний у більшій кількості місць. Ви, як правило, знайдете найкраще 4G покриття в густонаселених районах, таких як найближчий КБР, але в сільській місцевості 3G все ще король
- 4G мережі можуть використовуватися тільки з новими 4G сумісними мобільними телефонами. Старі моделі можуть бути сумісними лише з мережами 3G
- Різниця в швидкостях ще більше виражена, чим більше файл. Якщо ви завантажуйте фільми або намагаєтесь підтримувати потік HD Netflix, ви можете помітити велику різницю.



Графік 1.1 – Швидкість скачування для 3G та 4G

Наведений вище графік показує різницю швидкості між 3G і 4G, коли мова заходить про звичайні завантаження. Різниця між швидкістю 3G і 4G дійсно починає відображатися, коли збільшується розмір файлів. Це пов'язано, в основному, з тим, що 3G стрімко нарощує швидкість завантаження, тоді як швидкість 4G залишається постійною.

Незважаючи на те, що 3G та 4G по суті служать такої ж мети, 4G в більшості випадків чудово перевершує 3G. Існує лише два реальні можливі недоліки використання 4G:

- 4G потребує більше заряду акумулятора в смартфоні, ніж 3G
- Використання більше даних через високу швидкість, особливо якщо з'єднання 4G у домі швидше, ніж через Інтернет.

Крім того, 4G просто є природним прогресом стандартів, які впроваджує Міжнародний союз електрозв'язку (МСЕ). МСЕ встановлює мінімальні стандарти для швидкості та надійності даних, які постачальники послуг повинні відповідати своїм мережам, вважаючи їх "поточним ген".

Оскільки 4G в Україні з'явився нещодавно, то можна побачити, що 3G доступний у більшій кількості місць — реально знайти найкраще 4G покриття лише в густонаселених районах, таких як великі мегаполіси, але в сільській місцевості покриття 4 покоління все ще недостатнє для комфортного його використання.

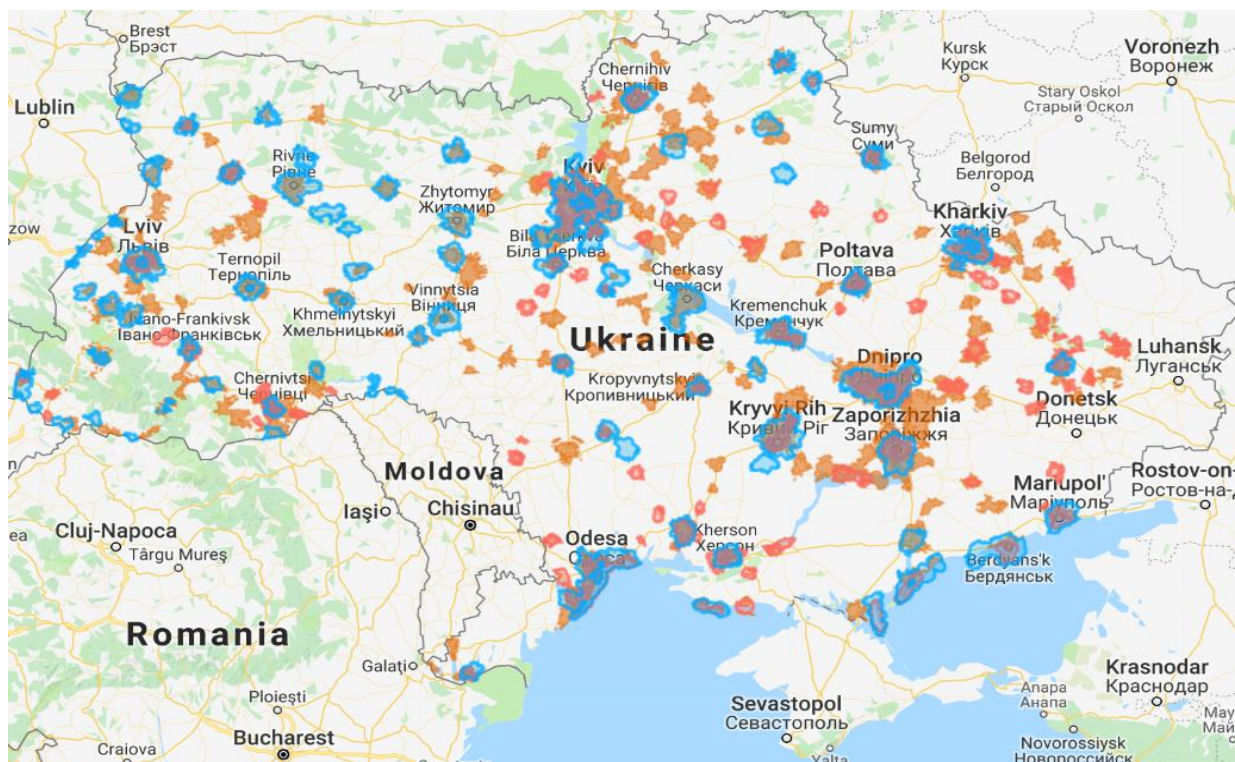


Рисунок 1.5 - 4G покриття на території України: Синій колір - 4G від Київстар; Червоний колір - 4G від Vodafone; Помаранчевий колір - 4G від Lifecell.

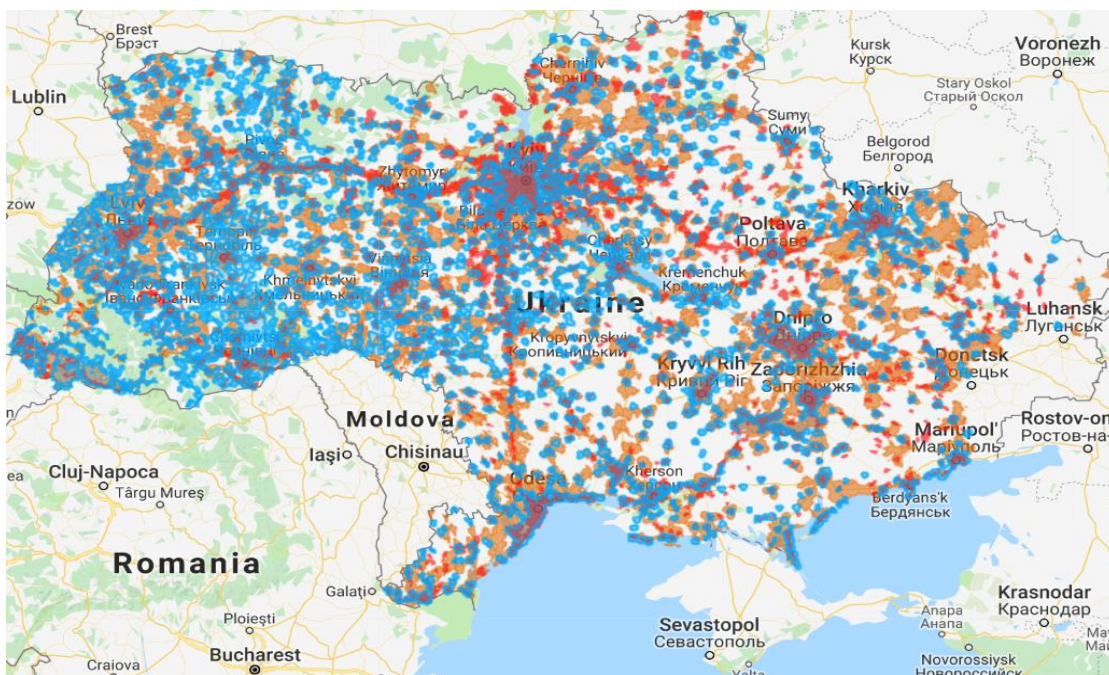


Рисунок 1.6 - 3G покриття на території України: Синій колір - 3G від Київстар; Червоний колір - 3G від Vodafone; Помаранчевий колір - 3G від Lifecell.

З рис. 1 та рис. 2 можна побачити, що 4G тільки на 10% вкрито на території України, а 3G майже 90%. Нижче представлені реальні показники швидкості інтернету в Києві, де є 3G ті 4G[5].

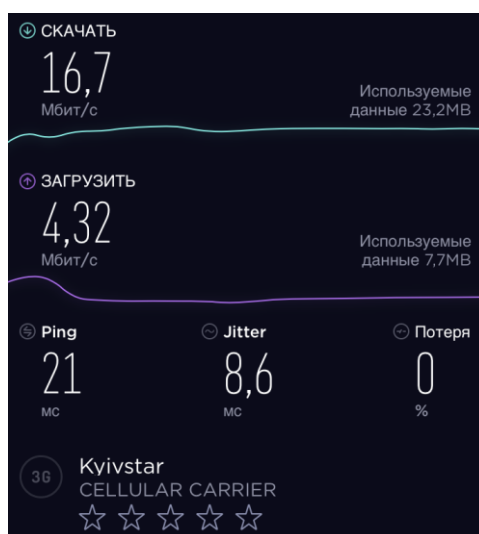


Рисунок 1.7 - Реальні показники швидкості 3G оператора Київстар у Києві.

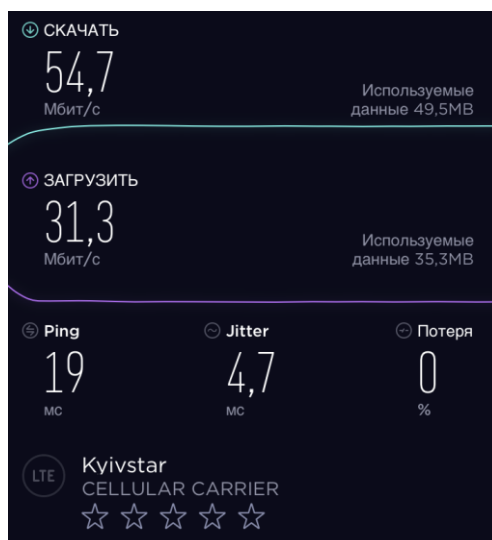


Рисунок 1.8 - Реальні показники швидкості 4G оператора Київстар у Києві.

Безпроводова мережа 3 покоління передає данні зі швидкістю приблизно 15 Мбіт/с, а мережа 4 покоління від 100 Мбіт/с до 1 Гбіт/с. Однак 4G для України новий стандарт і тому швидкість від 25 Мбіт/с до 80 Мбіт/с залежно від часу та місця знаходження при скачуванні.

Наразі не знайти багато способів чистої мережі 4G LTE. Замість цього мережі всередині все ще залишаються збіркою з 3G та 4G, а також технологіями 2G та радіоінтерфейсами. У багатьох областях покриття 2G, 3G та 4G перекривається. В результаті, навіть так звані 4G телефони насправді поставляються з 3G-чіпами, щоб вони могли отримати доступ до 3G і 4G + мереж.

1.4 Загальна структура мережі LTE (Long Term Evolution)

Мережа LTE складається з двох важливих компонентів: мережі радіодоступу E-UTRAN (evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network) і базової мережі SAE (System Architecture Evolution – еволюція системної архітектури) (рис. 1.9).

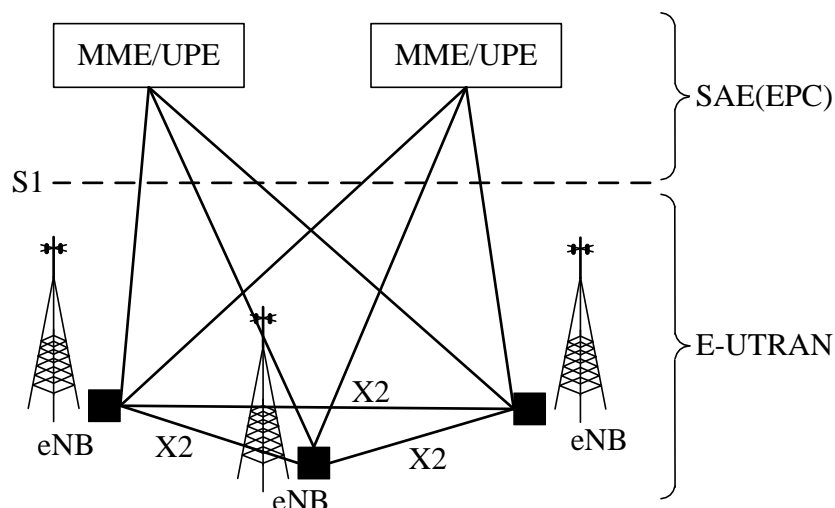


Рисунок 1.9 – Взаємодія мережі радіодоступу E-UTRAN і базової мережі SAE

Мережа радіодоступу E-UTRAN розглянута в ряді технічних специфікацій, згідно з якими вона складається тільки з БС eNB (evolved Node B). Ці елементи виконують функції і БС і контролерів БС мережі LTE. За рахунок цього спрощується розширення мережі, так як не потрібно розширювати ємність контролерів або додавання нових БС. eNB є елементами повнозв'язної мережі E-UTRAN і з'єднані між собою за принципом “кожен з кожним” за допомогою інтерфейсу X2. Інтерфейс X2 підтримує хендовери мобільного терміналу в стані LTE_ACTIVE. Кожна БС має інтерфейс S1 з базовою мережею SAE, побудованою за принципом комутації пакетів[6].

Базова мережа SAE, яку іноді називають мережею EPC (Evolved Packet Core), містить вузли MME/UPE, що складаються з логічних елементів MME (Mobility Management Entity – модуль управління мобільністю) і UPE (User Plane Entity). Логічний елемент MME відповідає за вирішення завдань управління мобільністю абонентського терміналу та взаємодіє з БС eNB мережі E-UTRAN за допомогою протоколів площини управління C-plane (Control plane) (інтерфейс S1-C). Логічний

елемент UPE відповідає за передачу даних користувачів відповідно до протоколів площин користувача U-plane (User plane) і взаємодіє з eNB через S1-U.

Завдяки інтерфейсу S1 BC з'єднані з декількома вузлами MME/UPE, що дозволяє більш гнучко використовувати мережевий ресурс. Такий інтерфейс називають S1-flex.

Виділимо функціональні відмінності мереж LTE від мережі UMTS.

BC eNB виконують функції управління радіоресурсом:

- управління радіоканалами;
- управління доступом;
- управління мобільністю;
- динамічний розподіл ресурсів.

Таким чином, у мережі радіодоступу E-UTRAN BC eNB управляють протоколами радіоінтерфейсу, комбінуючи виконання функцій BC Node B і більшість функцій контролера RNC (Radio Network Controller) радіомережі UMTS.

Мережний елемент управління мобільністю MME відповідає за розподіл повідомлень виклику (paging) до BC eNB, призначення ідентифікаторів абонентських терміналів, забезпечення безпеки мережі, перевірку автентичності повідомлень абонентів і управління роумінгом.

Мережний елемент площини користувача UPE виконує стиснення заголовків IP-протоколів, шифрування потоків даних, термінацію пакетів даних в U-plane, комутацію пакетів даних під час забезпечення мобільності користувача.

Управління мобільністю дозволяє вибрати обслуговуючу BC eNB для мобільного терміналу, передавати обслуговування мобільного терміналу від однієї базової станції eNB (хендовер) до іншої. Вибір обслуговуючої eNB здійснюється мобільним терміналом на основі власних вимірів і порівняння отриманих вимірів із встановленими пороговими значеннями. Хендовер реалізований на основі аналізу вимірів як мобільного терміналу, так і BC eNB, а також поточного завантаження обслуговуючої і сусідніх стільників, політикою оператора по регулюванню трафіку.

1.5 Архітектура базової мережі SAE

Архітектура базової мережі SAE дозволяє здійснювати подальшу еволюцію мереж 3G у напрямі отримання вищих швидкостей передачі даних, забезпечення низьких затримок, а також оптимізації передачі даних на основі різноманітних технологій радіодоступу. Основною відмінністю базової мережі SAE від базової мережі системи UMTS являється максимально спрощена структура і відсутність дублюючих функцій мережевих протоколів.

В основу побудови базової мережі SAE покладена концепція AIPN (All over IP Network – “усе через IP”) і та обставина, що доступ до базової мережі SAE може здійснюватися як через мережі радіодоступу другого і третього покоління (наприклад, мережі UTRAN, GERAN), так і через мережі, не стандартизовані проектом 3GPP (мережі non-3GPP), наприклад, мережі IEEE: Wi-Fi, WiMAX, а також через мережі, що використовують провідні IP-технології (наприклад, ADSL+, FTTH та ін.).

Еталонна архітектура базової мережі SAE із зазначенням інтерфейсів взаємодії із зовнішніми мережами показана на рис. 1.10. Згідно з нею функції протоколів площини управління вузла обслуговування абонентів GPRS – SGSN (Serving GPRS Support Node) мережі UMTS стають функціями елементу управління мобільністю MME. Функції контролера RNC, які не виконує БС eNB мережі E-UTRAN, і функції протоколів площини користувача вузла SGSN та шлюзу з зовнішніми мережами – GGSN (Gateway GPRS Support Node) реалізуються модулем UPE і шлюзовим вузлом прив'язки 3GPP Anchor мережі SAE. Цей вузол призначений для приєднання мереж 2G/3G до мережі LTE. До складу SAE входить також шлюзовий вузол прив'язки SAE Anchor, який служить для приєднання до мережі SAE мереж стандартів 3GPP (GSM/UMTS) і стандартів non-3GPP. Обидва вузли прив'язки утворюють єдиний вузол прив'язки IASA (Inter Access System Anchor) для приєднання зовнішніх IP-мереж.

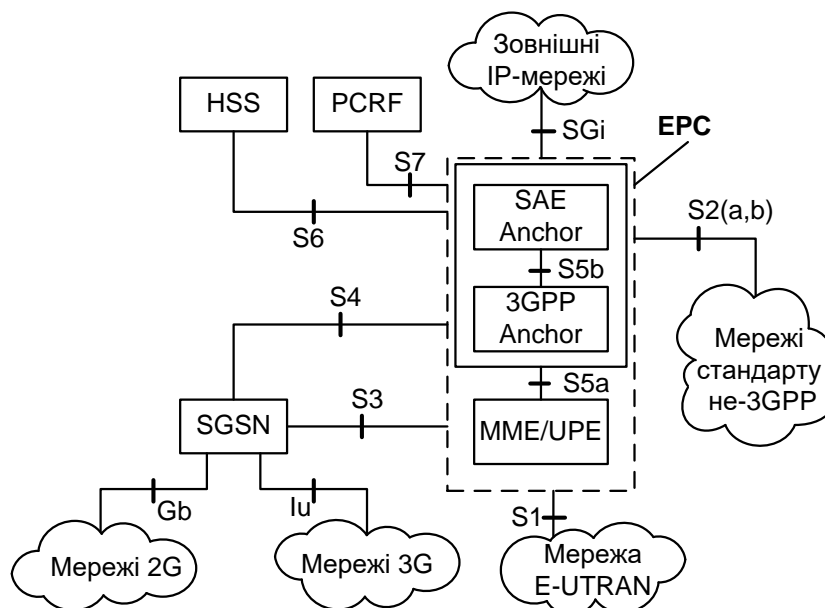


Рисунок 1.10 – Еталонна архітектура базової мережі SAE

PCRF (Policy and Charging Rules Function) – елемент мережі, що відповідає за управління нарахуванням плати за надані послуги зв'язку, а також за якість з'єднань у відповідності з заданими конкретному абоненту характеристиками.

HSS (Home Subscriber Server) – сервер абонентських даних мережі стільникового зв'язку стандарту LTE. Являє собою велику базу даних і призначений для зберігання даних про абонентів. HSS фактично замінює набір реєстрів (VLR, HLR, AUC, EIR), які використовувалися в мережах 2G і 3G.

Таблиця 1.1 – Основні інтерфейси мережі SAE

Інтерфейс	Опис інтерфейсу
S1	Надає доступ до мережі радіодоступу E-UTRAN для передачі даних протоколів площин користувача та управління. Дозволяє мати роздільне і комбіновану апаратну реалізацію елементів MME і UPE
S2a	Інтерфейс між вузлом IASA та фіксованими IP-мережами стандарту non-3GPP. Забезпечує передачу даних протоколів площині користувача та підтримку функцій управління і мобільності. Включає в себе інтерфейси S2a, S2b і S2c

Продовження таблиці 1.1 - Основні інтерфейси мережі SAE

S3	Інтерфейс між елементами MME / UPE і вузлом SGSN. Забезпечує управління міжмережовим хендовери абонентських терміналів в мережах E-UTRAN і UTRAN
S4	Інтерфейс між вузлом 3GPP Anchor і вузлом SGSN. Забезпечує передачу даних площині користувача та підтримку функцій управління та мобільності. Заснований на інтерфейсі Gn між вузлами SGSN і GGSN мережі UMTS
S5a	Інтерфейс між елементом MME / UPE і вузлом 3GPP Anchor. Забезпечує передачу даних протоколів площині користувача та підтримку функцій управління та мобільності
S5b	Інтерфейс між вузлами 3GPP Anchor і SAE Anchor. Забезпечує передачу даних протоколів площині користувача та підтримку функцій управління та мобільності
S6	Інтерфейс, що забезпечує доступ до домашньої бази даних користувачів (HSS) і для аутентифікації та авторизації користувачів (інтерфейс AAA)
S7	Інтерфейс, який забезпечує керування встановленням з'єднань із заданими параметрами QoS на основі політики мережі і тарифікацію
SGi	Інтерфейс між вузлом IASA і зовнішніми мережами з пакетною передачею даних. Заснований на інтерфейсі Gi між вузлами GGSN і зовнішніми IP-мережами
Iu	Забезпечує з'єднання для класичних голосових сервісів паралельно зі з'єднаннями для всіх типів пакетних сервісів

Сукупність логічних мережових елементів MME/UPE та IASA утворює базову пакетну мережу – EPC. Пізніше з'явилися нові мережові елементи: обслуговуючий шлюз S-GW (Serving Gateway) і шлюз взаємодії з пакетними

мережами P-GW (Public data network (PDN) Gateway), а також логічний елемент MME, що функціонує окремо від елементу UPE.

1.6 Радіочастотні аспекти мережі LTE

Детальна інформація відносно радіочастот для LTE розміщена в двох 3GPP технічних специфікаціях: 36.101 для абонентського обладнання і 36.104 для обладнання БС, що відомі в LTE як eNodeB.

В табл. 1.2 наведено IMT-2000 (3G) частотні діапазони, визначені Європейським інститутом стандартизації електрозв'язку – ETSI (European Telecommunications Standards Institute) та 3GPP. На відміну від стандартного каналу системи UMTS з шириною смуги частот 5 МГц канали мереж LTE мають масштабовану ширину смуги в межах від 1,4 до 20 МГц. Важливою особливістю є інтеграція між двома режимами: FDD та TDD.

Таблиця 1.2 – Співвідношення між шириною частотного каналу і числом ресурсних блоків, що використовуються для формування сигналів в мережі LTE

Ширина смуги частот каналу, МГц	1,4	3	5	10	15	20
Число ресурсних блоків N_{RB} у сигналі, що передається	6	15	25	50	75	100

На відміну від систем з CDMA, де ширина смуги пропускання фіксована, OFDM впроваджує гнучку ширину смуги пропускання. На рис. 1.11 показаний взаємозв'язок між шириною смуги частот каналу – BW (Bandwidth) та структурою сигналу, що передається, вираженою числом ресурсних блоків N_{RB} . Границі каналів знаходяться як значення верхньої F_B та нижньої F_H носійних частот, рознесених на половину ширини смуги частот каналу, наприклад $(F_H + BW/2) \dots (F_B - BW/2)$.

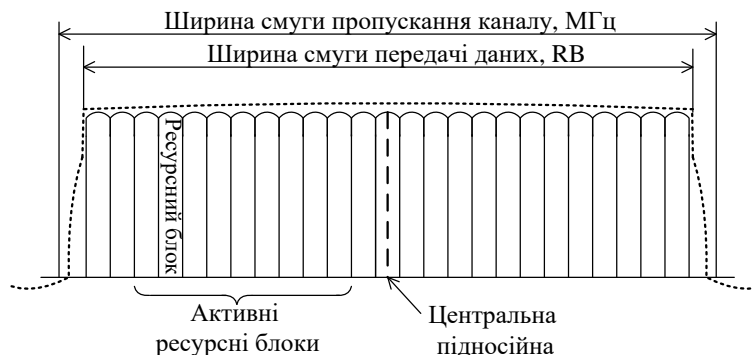


Рисунок 1.11 – Смуга пропускання каналу та смуга передачі даних

Можливість використання частотних каналів LTE можна визначити, проаналізувавши доступні ресурси діапазонів частот, призначених для впровадження мереж:

- діапазон 900 МГц (доступний ресурс 35 МГц): типовий сценарій – використання каналів LTE з шириною смугою 1,4...5 МГц;
- діапазон 1800 МГц (доступний ресурс 75 МГц): оптимальне використання каналів LTE з шириною смугою 5...10 МГц;
- діапазон 2100 МГц (доступний ресурс 60 МГц), використовується, як правило, операторами UMTS: типовий сценарій – використання каналів LTE з шириною смугою 5...10 МГц;
- діапазон 2600 МГц (для режиму TDD доступний ресурс 70 МГц): використання каналів LTE з шириною смугою 5, 10, 15 МГц;

Беручи до уваги різну ємність діапазонів частот, виділених під мережі LTE, частина каналів з шириною смуги 1,4; 3; 5; 10; 15; 20 МГц не може бути використана, так як ширина смуги каналу перевищує ширину смуги частот конкретного діапазону LTE.

1.7 Організація багатостанційного доступу

Багатостанційний доступ в LTE відрізняється від поширеного на сьогодні WCDMA. На лінії вниз в LTE використовується OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) – метод формування радіосигналу з ортогональним

частотним мультиплексуванням, а на лінії вгору – SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access) – ортогональний множинний доступ з частотним розділенням каналів на одній носійній частоті. У даному розділі описані принципи роботи цих двох методів, а також інші вибіркові фундаментальні дані.

1.7.1 OFDM

У комунікаційних системах на основі OFDM, на противагу системам з єдиною несучою, для досягнення більш високої швидкості передачі даних не потрібно пропорційного збільшення символної швидкості. Це спрощує вирішення завдань подолання межсимвольної інтерференції - ISI. У системах з OFDM задана смуга каналу ділиться на безліч вузьких підносійних, які служать для паралельної передачі даних. У кожній з підносійних в залежності від якості каналу передаються піднесучі модулі з використанням модулів QAM різного рівня, тобто від QPSK (4QAM) до 64QAM або ще більш високих рівнів. Таким чином, кожен із символів OFDM є комбінацією в каналі певної ширини, які одночасно передаються на кожний з підносійних сигналів. Оскільки дані передаються паралельно, а не послідовно, символи OFDM при однаковій вихідній швидкості передача даних більш тривалими за часом, ніж символи в системах з єдиною несучою[7].

Модуляція OFDM має дві особливості. Перша з них полягає в тому, що символ передує циклічну приставку (CP), яка використовується для ефективного придушення ISI. Друга особливість полягає в тому, що підносійні розташовані дуже щільно, що дозволяє ефективно використовувати виділену смугу, не допускаючи при цьому інтерференції між сусідніми підносійними (Inter Carrier Interference, ICI). Ці два унікальних якості в дійсності тісно взаємопов'язані. Для того, щоб зрозуміти, яким чином OFDM справляється з ISI, необхідно досліджувати сигнал і в тимчасовій, і в частотній областях. Звернемося для цього до рис. 1.12. Символ OFDM містить дві головні складові: CP і період FFT (TFFT). Тривалість CP визначається найбільшою з можливих величин розсіювання затримки, яка характерна для даного застосування. Коли два копії переданого

сигналу потрапляють в приймач за двома різних трасах, що мають різну довжину, вони виявляються зсунутими в часі.

У середині СР можлива поява спотворень, викликаних затримкою попереднього символу. Однак при відповідній тривалості СР попередні символи не накладаються на період FFT. У середині нього може спостерігатися тільки інтерференція, яку викликає зсунутими в часі копіями поточного символу. Як тільки імпульсна характеристика каналу буде визначена (шляхом періодичної передачі відомого опорного сигналу), ці спотворення можуть бути скориговані за рахунок виправлень по амплітуді і фазі на основі методу «від підносійної до підносійної».

Відзначимо, що вся інформація, яка відноситься до приймача міститься в періоді FFT. Після того як сигнал буде прийнятий і відцифрований, приймач просто пропустить СР. В результаті буде отриманий імпульс прямокутної форми, який в кожній з підносійних (для кожного модульованої підносійної) за період FFT має постійну амплітуду. Імпульси прямокутної форми, отримані в результаті децимації СР, розташовуються в займаній піднесе субполосе дуже близько до її центральної частоті, що перешкоджає виникненню ICI. Простий за формою прямокутний імпульс, що спостерігається в тимчасовій області, являє собою в частотній області функцію виду $\text{Sin}(x) / x$. Тривалість періоду FFT для LTE дорівнює 67,77 мкс. Для себе відзначимо, що це ні що інше, як величина, зворотна смузі, яку займає підносійна. У частотній області це відповідає такому режиму квантування, при якому точки перетину нуля розміщуються рівномірно з інтервалом 15 КГц і точно по центру підносійної. Таким шляхом стає можливим квантування точно на центральній частоті кожної з тих, що піднесуть до тих пір, поки ми не зіткнемося з інтерференцією, спричиненої прилеглої піднесе (що відповідає режиму zero-ICI).

1.7.2. OFDMA

В LTE для низхідного каналу використовується варіант OFDM, що має назву OFDMA. На рис. 1.12 наведена різниця між OFDM та OFDMA.

При стандартному OFDM розподіл підносійних є фіксованим для кожного користувача (абонента) і ефективність може знижуватись від вузькосмугового завмирання та завад. OFDMA включає в себе елементи TDMA, так що підносійні можуть розподілятися динамічно між різними користувачами в каналі. В результаті система є більш завадостійкою, зі збільшеною потужністю. Потужність надходить від групової ефективності та підсилюється завдяки мультиплексуванню невеликої частини користувачів в ширший канал для забезпечення динамічної пропускної здатності коли це необхідно, а стійкість зростає за рахунок можливості розділять абонентів частотою для запобігання візькосмугової інтерференції та завмирання внаслідок багатопроменевого поширення.

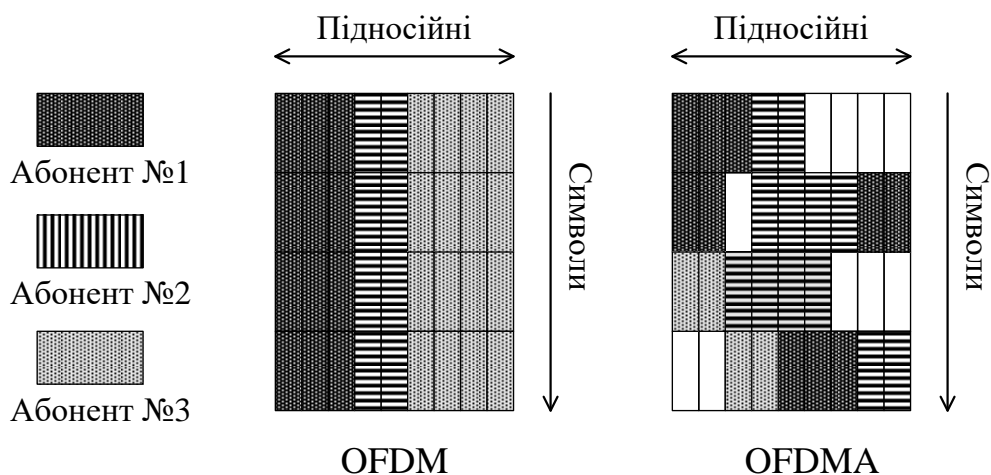


Рисунок 1.12 – Розподіл підносійних в OFDM та OFDMA

1.7.3 SC-FDMA у висхідному каналі

Існують причини, через які з'явилися відмінності в вимогах до зворотного каналу LTE порівняно з прямим каналом. Велике значення відношення пікової і середньої потужностей – PAPR (peak-to-average power ratio), якт властиве OFDM, змусили спеціалістів 3GPP шукати інші схеми модуляції для висхідного каналу.

Вирішенням проблеми став SC-FDMA (Single-carrier FDMA) – множинний доступ з частотним розділенням з однією носійною. Він поєднав низьке значення PAPR, що притаманне системам передавання даних з єдиною носійною (таким як

GSM та CDMA), зі стійкістю до багатопроменевого поширення і гнучким розподілом частот, які характерні для OFDMA.

Математичний опис SC-FDMA символу в часовій області детально поданий в. Коротке ж пояснення виглядає наступним чином: символи даних в часовій області переходять в частотну область використовуючи DFT (Discrete Fourier transform); спершу в частотній області вони відображені на заданій частині всієї ширини смуги пропускання каналу перш ніж будуть перетворені назад в часову область за допомогою IFFT (Inverse Fast Fourier Transform) – зворотнього швидкого перетворення Фур'є. Після цих операцій додається префікс CP.

Графічне порівняння OFDMA та SC-FDMA, показане на рис 1.4, допомагає зрозуміти різницю між цими двома схемами модуляції. Реальні SC-FDMA сигнали на лінії вгору розподілені між 12 суміжними підносійними, відомим як ресурсний блок RB (Resource block). Але для розуміння, приклад, наведений далі, використовує лише 4 (M) підносійні на протязі двох символних періодів з номінальним навантаженням даними, представленими QPSK-модуляцією.

Зліва на рис. 1.13 кожна з M сусідніх підносійних (розміщені на потрібному місці смуги пропускання) на періоді OFDMA-символу (66.7 мкс) є модульована одним QPSK-символом.

В даному прикладі з $M = 4$ чотири символи надходять паралельно. Так як використовується модуляція QPSK, то модулюється лише фаза кожної підносійної і потужність підносійної між символами залишається сталою. Після закінчення одного періоду OFDMA-символу вводиться CP і наступні чотири символи передаються також паралельно. Для більшої наглядності, CP на малюнку зображено як проміжок. Однак насправді він заповнений копією кінця наступного символу, що вказує на те, що передавання потужності триває, але має стрибок фази на границі символу.

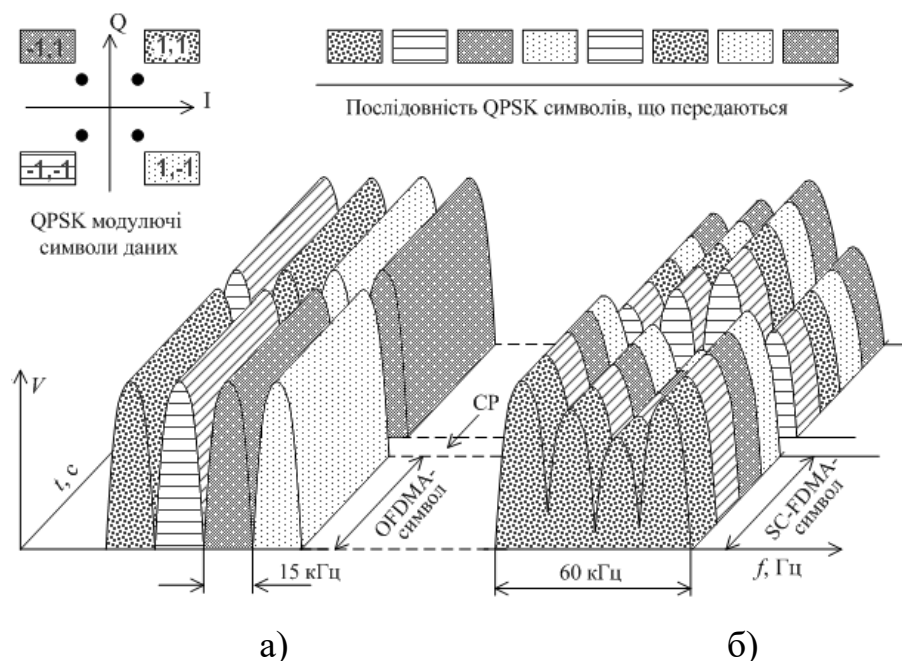


Рисунок 1.13 – Порівняння передачі серії QPSK-символів за допомогою OFDMA (а) SC-FDMA (б)

Аби сформувати переданий сигнал, швидке зворотне перетворення Фур'є – IFFT (Inverse fast Fourier transform), виконане на кожній підносійній, створює M сигналів в часовій області. Далі послідовно вони сумуються векторно щоб відтворити кінцеву форму сигналу, що передавався, в часовій області.

Найбільша різниця між двома схемами модуляції – OFDMA та SC-FDMA – полягає в тому, що перша передає 4 QPSK-символи даних паралельно, по одному один на підносійну, тоді як друга передає ці самі символи послідовно і кожен символ даних займає ширшу частотну смугу – $M \times 15 \text{ кГц}$ [6].

Базові архітектури передавача і приймача з SC-FDMA дуже схожі (майже повністю ідентичні) з архітектурою пристроїв, що використовують метод OFDMA, і забезпечують той же ступінь стійкості до багатопроменевого режиму. Але найважливішим є те, що характеристика сигналу, яка лежить в основі цього методу (SC-FDMA), є одночастотною, а відношення пікової потужності до середньої потужності радіосигналу – нижчим.

На структурній схемі, представлений на рис. 1.13, показано базове представлення системи передавач/приймач. Багато функціональних блоків є

спільними для схем з SC-FDMA і з OFDMA, тому спостерігається функціональна подібність між ланцюгами для прямого і зворотного каналів даних систем.

Функціональними блоками ланцюга передавача є:

- формувач ансамблю – перетворює вхідний потік бітів в одночастотне представлення символів (8PSK, QPSK або 16QAM – залежно від якості каналу передачі);
- послідовно-паралельний перетворювач – формує символи в часовій області для подачі в блок FFT;
- M -точковий DFT – перетворює символи з часової області в M дискретних тонів;
- формувач підносійних: формує з тонів на вході DFT спеціальні підносійні для наступної передачі. У системах з SC-FDMA використовуються як тони, що розміщені поряд (локалізовані), так і однорідно розсіяні тони (розподілені). У тих дослідженнях, які на цей момент проводяться для систем LTE, припускають використання локалізованих підносійних;
- N -точковий IDFT: перетворює сформовані підносійні назад в часову область для передачі;
- формувач циклічного префіксу CP та імпульсу: CP передуює композитному символу SC-FDMA, який служить для захисту від “багатопроменевості”, точно так, як і в системі з OFDM. Як і в разі застосування OFDM, вводиться формування імпульсної характеристики для того, щоб понизити рівень позасмугових завад (підростання рівня бічних позасмугових випромінювань в спектрі);
- перетворювач з підвищенням частоти – перетворює цифровий сигнал в аналоговий і переносить його спектр вгору для передачі на радіочастоті.

У схемі приймача процес йде в зворотному порядку. Як і у випадку з OFDM, канал передавання з SC-FDMA можна представити як лінійну суму дискретних підносійних. В протилежність OFDM, початковий сигнал SC-FDMA, представлений дискретними підносійними, являється в загальному єдиною носійною. Така відмінність від OFDM пояснюється тим, що підносійні SC-FDMA

не являються модульованими незалежно. В результаті відношення пікової потужності до середньої потужності радіосигналу буде нижчим, ніж для OFDM.

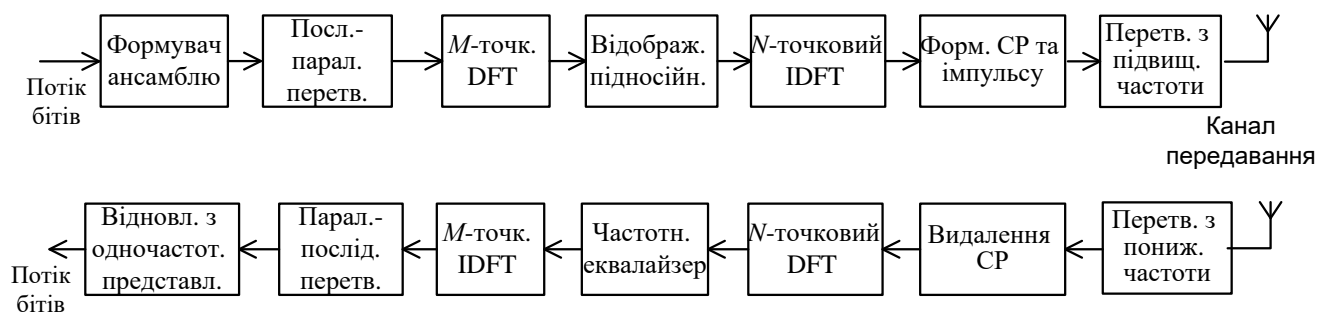


Рисунок 1.14 – Базова структура передавача і приймача з SC-FDMA

1.8 Технологія багатоантенної передачі MIMO

Однією з фундаментальних технологій, впроваджених в системі LTE, являється MIMO (Multiple Input Multiple Output), що включає просторове мультиплексування так же як і попереднє кодування та рознесену передачу. Основний принцип просторового мультиплексування є передача сигналів з двох або більше антен з різними потоками даних і подальше розділення потоків даних в приймачі за допомогою засобів обробки сигналів. Як наслідок, пікова швидкість передачі даних зростає в 2 (при конфігурації антен 2×2) або в 4 рази (при конфігурації 4×4). При попередньому кодуванні сигнали, передані з різних антен, аналізуються з метою збільшити прийняте відношення сигнал/шум. Рознесена передача базується на використанні сигналів, що передаються від двох або більше незалежних джерел, модулюються ідентичними інформаційними сигналами і можуть змінювати характеристики передачі в будь-який момент часу.

Використання технології MIMO раніше було включене і для стандарту WCDMA, але функціонування її дещо відрізнялось від функціонування в LTE. Принцип роботи MIMO показано на рис. 1.15.

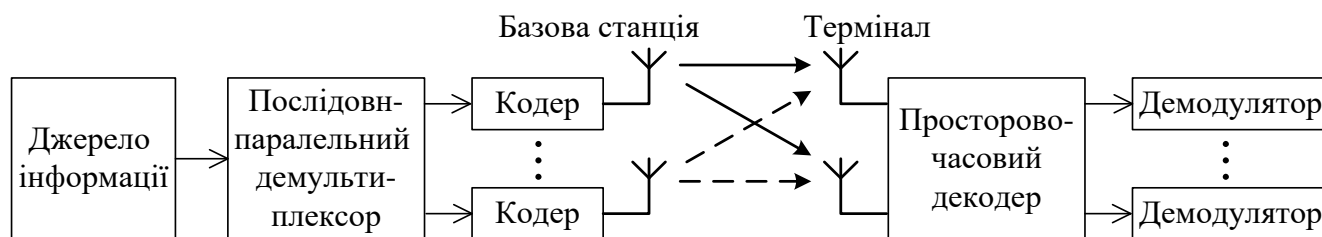


Рисунок 1.15 – Узагальнена структурна схема системи зв'язку, побудованої на технології MIMO

Для успішного прийому сигналів по технології MIMO, приймач повинен визначити імпульсну характеристику каналу для кожної з передавальних антен. В системі LTE імпульсна характеристика каналу визначається шляхом послідовної передачі кожною з передавальних антен відомих опорних сигналів (рис. 1.16). Для системи 2x2 MIMO визначається одна загальна або чотири окремих канальних імпульсних характеристик. Відмітимо, що поки одна передавальна антена передає опорний сигнал, інша не використовується. Як тільки імпульсна характеристика каналу буде визначена, почнеться незалежна передача даних обома антенами. Лінійна комбінація двох потоків даних на двох прийомних антенах приводить до системи з двох рівнянь з двома невідомими, розв'язати яку неможливо для окремих оригінальних потоків даних.

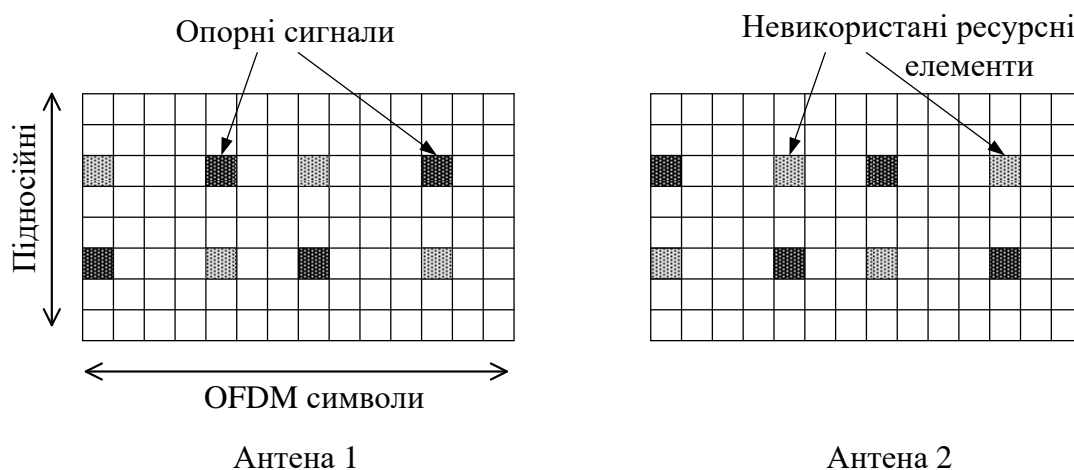


Рисунок 1.16 – OFDMA опорні символи для підтримки двох eNodeB передавальних антен

Доки абонентський пристрій використовує лише одну передавальну антену, потік даних від користувача не може бути збільшений за допомогою технології MIMO. Тим не менше максимальна швидкість передавання даних на стільниковому рівні може бути подвоєна розміщенням двох приладів з ортогональними опорними сигналами. Таким чином передавання на БС розглядається як MIMO передача, і має назву “віртуальна” MIMO (рис. 1.17), а потік даних розділяється обробкою ресивером MIMO. Такий вид “віртуальної” MIMO підтримується в 8 Релізі LTE і не вносить значних труднощів для реалізації.

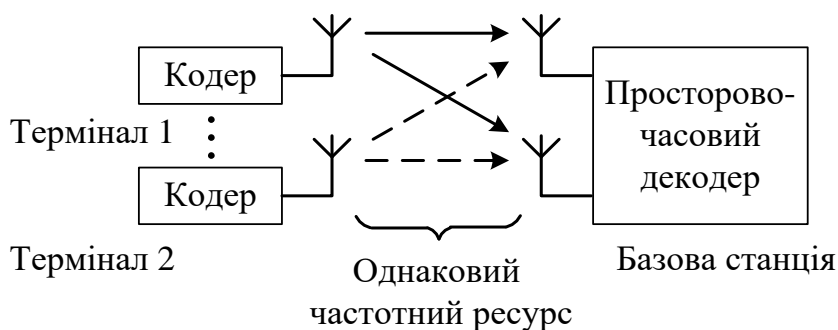


Рисунок 1.17 – Організація “віртуальної” MIMO

Висновки до розділу

1. Технологія 3G – це покоління технології мобільного зв'язку, яке включає в себе високошвидкісний мобільний доступ до мережі Інтернет та технологію радіозв'язку. Мережі 3G працюють на частотах дециметрового діапазону (близько 2 ГГц), швидкість передачі даних становить понад 2 Мбіт/с. Такі мережі надають можливість організувати відеозв'язок, дивитись на мобільному телефоні фільми й телепрограми та інше. Існує два стандарти 3G: UMTS (W-CDMA) та CDMA2000. UMTS – це технологія стільникового зв'язку для передавання даних через ефір для впровадження 3G. Проведено аналіз переваг та недоліків безпроводових мережі 3G UMTS. До переваг належать висока швидкість передавання даних понад 2 Мбіт/с та можливість проведення відеоконференцій та відеотрансляцій.

До недоліків належать невеликий радіус стільника, підвищене енергоспоживання та технологічні складнощі коректного здійснення хендвера між UMTS і GSM. UMTS – це технологія стільникового зв'язку для передавання даних через ефір для впровадження 3G.

2. Системи зв'язку 4G засновані на пакетних протоколах передачі даних. Для передавання даних використовують протокол IPv4; в майбутньому заплановано підтримку IPv6. Основна відмінність мереж четвертого покоління від третього полягає в тому, що технологія 4G повністю заснована на протоколах пакетного передавання даних, тоді як 3G поєднує як пакетну комутацію, так і комутацію каналів. Для передавання голосу в 4G передбачено технологію VoLTE. Основні дослідження під час створення систем зв'язку четвертого покоління ведуть у напрямку використання технології ортогонального частотного ущільнення OFDM. Крім того, для максимальної швидкості передання використовують технологію MIMO.

3. Як і 3G, мережі 4G є IP-адресою (Інтернет-протоколом), що означає, що він використовує стандартний протокол зв'язку для надсилання та отримання даних у пакетах. Однак, на відміну від 3G, 4G використовує IP навіть для голосових даних.

4. З баштою 3G приблизно 60-100 людей можуть поділитися сигналом і отримати швидкий, надійний сервіс. Однак 4G LTE башта може обслуговувати близько 300 або 400 людей.

2 МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ТА ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ БЕЗПРОВОДОВИХ МЕРЕЖ

2.1 Atoll

Atoll – відкрита, масштабована, гнучка мультитехнологічна платформа проектування мережі та її оптимізації, яка підтримує технології безпроводових операторів від початкового проекту мережі до її ущільнення і оптимізації. Atoll включає інструменти розробки, які дозволяють операторам або розробникам налаштовувати їх робочий простір і легко інтегрувати Atoll з іншими застосуваннями. Ця ключова особливість забезпечує гнучкість і можливість швидкого додавання налагоджених модулів, які поставляються іншим програмним забезпеченням для планування і оптимізації.

Atoll підтримує наступні технології:

- GSM/GPRS/EDGE;
- UMTS/HSPA;
- CDMA2000 1xRTT/EV-DO;
- LTE;
- TD-SCDMA;
- WiMAX/BWA;
- Microwave links.

Atoll підтримує широкий діапазон сценаріїв виконання, від автономного до корпоративного розподіленого використання конфігурацій усього підприємства і багатопотокові обчислення. До особливостей програми можна віднести:

1. Розширені можливості проектування мереж. Atoll включає розширені мультитехнологічні засоби планування (наприклад, GSM/UMTS/LTE, CDMA2000/LTE), і комбінований Single-RAN Multi-RAT GSM/UMTS/LTE симулятор за методом Монте-Карло, моделі трафіку. Atoll підтримує GSM/GPRS/EDGE, UMTS/HSPA, LTE, CDMA2000 1xRTT/EV-DO, TD-SCDMA,

WiMAX, і моделі НВЧ-мереж; включає високопродуктивне ядро для обчислення моделей поширення, сучасні засоби мережного планування і аналізу.

2. Інтегровані інструменти оптимізації. Atoll включає набір інтегрованих AFR (Automatic Frequency Planning) і ACP (Automatic Cell Planning) модулів, дозволяючи операторам виконувати завдання планування і оптимізації на основі єдиної бази даних і IT інфраструктури.

3. Відкрита і гнучка архітектура. Atoll підтримує багатокористувацький доступ до бази даних, яка забезпечує спільне використання даних, управління їх цілісністю, легку інтеграцію з іншим IT системи.

4. Найновіші засоби ГІС. Atoll підтримує багатоформатні географічні дані. Введена підтримка даних високого розширення, таких як карти міст, регіонів чи країн, вони відображаються в інтерактивному багатошаровому режимі, включаючи шари розробки покриття і моделей поширення. Atoll також включає інтегрований векторний/растровий картографічний редактор і інтегрується з основними ГІС-застосуваннями, такими як MapInfo і ArcView.

Особливості ГІС Atoll:

- оптимізована картографічна база даних, що підтримує цифрові багатошарові моделі, дані шумів та завад (тип і висоту), 3D дані будівель (векторні/растрові), дані трафіку, відскановані карти, векторні дані, населення, і дані клімату;
- вбудований картографічний векторний і растровий редактор;
- інтеграція з інструментами ГІС: MapInfo, ArcView, Google Earth;
- підтримка служб Web-карт.

Ядро Atoll – центральний модуль, який підтримує інтерфейс користувача, додатки ГІС, моделі поширення, усі послуги управління даними, інтерфейси, і інструменти розробки програмного забезпечення.

5. Засоби автоматичного частотного планування і автоматичного планування стільників дозволяють виконувати мультитехнологічне автоматичне комплексне планування мережі та її оптимізацію.

Автоматизація і скриптинг:

- підтримка мови сценаріїв, що дозволяє інтеграцію призначених для користувача макросів;
- призначена для користувача схема обчислення, основана на макросах і скриптах. Моделі поширення:
- вбудована загальна бібліотека моделей поширення;
- повна підтримка передбачення шарів різного розширення;
- автоматичне налаштування моделі поширення з використанням даних модуляції та швидкості каналу передавання даних;
- матричне коригування втрат на поширення з використанням інтерпольованих даних при випробовуваннях;
- високопродуктивна модель CrossWave поширення.

CrossWave – універсальна високопродуктивна модель поширення, розроблена Orange Labs. Вона підтримує усі безпроводові технології і усі види довкілля, від сільського типу до щільних міських областей.

6. Програма Atoll використовує 11 моделей ПРХ, які відповідають широкому спектру безпроводових телекомунікаційних систем різного призначення – від наземних та морських рухомих служб, які працюють в діапазонах частот нижче 400 МГц, до мікрохвильових ліній зв'язку (РРЛ), що використовують частоти до 10000 – 18000 МГц, з рухомими та фіксованими (нерухомими) абонентськими приймачами.

Слід звернути увагу на такі особливості моделей: – деякі моделі описують втрати лише для нерухомих (фіксованих) абонентських приймачів; – більшість моделей для розрахунку величини втрат використовує як профіль місцевості (тобто інформацію, отриману з карти висот – DTM), так і інформацію про тип перешкод на місцевості (clutter); – багато моделей може враховувати дифракцію радіохвиль на шляху від передавача до приймача.

Роздруківки і звіти:

- гнучкий генератор звітів, у тому числі про трафік, населення, і статистику шумів та завад;
- призначені для користувача звіти, засновані на макросах;
- експорт звітів до іншого програмного забезпечення;
- підтримка принтерів і плоттерів розміром до формату A0.

7. Автоматичне частотне планування (AFP). Atoll включає потужний і гнучкий модуль GSM AFP-модуль, який використовується великою кількістю операторів у всьому світі. Він заснований на передовій техніці оптимізації і включає передові можливості, такі як комбіноване автоматичне/діалогове частотне планування і оптимізація розміщення TRX, врахування інтерференційних завад.

Atoll також включає виділені WiMAX і LTE AFP-модулі, що підтримують особливості специфічного для технології розміщення.

8. Автоматичне планування стільників (ACP). Atoll включає новий концепт автоматичного планування стільників, який виконаний як інтегрована функція[8].

Особливості ACP доступні зі стандартного інтерфейсу користувача Atoll, усі дані ACP з результатами зберігаються в регулярних файлах Atoll і базі даних. Atoll ACP доступний для GSM, UMTS, LTE, CDMA2000 і WiMAX. Він підтримує комбіновану GSM/UMTS/LTE і CDMA2000/LTE оптимізацію.

Параметри оптимізації Atoll:

- тип антен;
- висота антен;
- азимут і нахил антени;
- потужність передавача;
- автоматичне розміщення сайту для мереж "зеленого поля".

Об'єкти оптимізації Atoll:

- покриття;
- інтерференція;
- ємність;
- якість сервісу;

- випромінювання електромагнітного поля.

Результати оптимізації Atoll:

- реалізація впорядкованих змін щодо потенційного вдосконалення мережі;
- повний набір передбачення поширення хвиль для внесення змін і виконання аналізу по вдосконаленню мережі;
- зберігання параметрів і результатів оптимізації для виконання аналізу і порівняння.

2.2 Загальні підходи до проектування та дослідження високошвидкісних безпроводових мереж

Для виконання розрахунку покриття заданої території системою безпроводового зв'язку LTE необхідно мати наступні вихідні дані:

- | | |
|--------------|--|
| M | – кількість секторів в стільнику ($M = 3$ при $\theta = 120^\circ$, де θ – ширина діаграми спрямованості антен БС); |
| C | – розмірність кластера ($C = 1$); |
| ρ | – щільність населення, осіб/км ² ; |
| S | – площа території, що обслуговується, км ² ; |
| F | – смуга частот, виділена оператору за умовами ліцензії для розгортання системи стільникового зв'язку, МГц; |
| FR | – діапазон частот, в якому працює система; |
| Δf_k | – смуга частот одного радіоканалу, МГц; |
| k | – коефіцієнт, що враховує застосування технології MIMO для LTE (для схеми MIMO 2x2 $k = 2$, за відсутності технології MIMO $k = 1$); |
| $R_{аб}$ | – гарантована абонентська швидкість, Мбіт/с; |
| Тип трафіку | – заданий тип трафіку (веб-трафік, VoIP, потокове відео, відеоконференції або ігри через інтернет). |

Необхідно виконати обчислення кількості базових станцій і радіусу стільника.

Для цього спочатку визначаємо загальну кількість частотних каналів, виділених для розгортання мережі безпроводового зв'язку:

$$n_k = \text{int} \left(\frac{F}{\Delta f_k} \right), \quad (2.1)$$

де F – смуга частот, виділена оператору за умовами ліцензії для розгортання системи, МГц;

Δf_k – смуга частот одного радіоканалу, МГц.

Визначаємо кількість частотних каналів для обслуговування абонентів в одному секторі одного стільника[9]:

$$n_{\text{чк}_c} = \text{int} \left(\frac{n_k}{M \cdot C} \right), \quad (2.2)$$

де M – кількість секторів в стільнику; C – розмір кластера.

Визначаємо кількість потенційних абонентів :

$$N_A = Z \cdot \mu \cdot \rho \cdot S, \quad (2.3)$$

де Z – запланована частка ринку ($Z = 80\%$, не враховуючи населення, молодше 12 років, і літніх людей);

μ – проникнення даного типу сервісу (для LTE $\mu = (0,3...0,5)$, для UMTS HSPA $\mu = (0,4...0,6)$);

ρ – щільність населення, осіб/км², розраховується як відношення кількості населення в місті $N_{\text{нас}}$ до площі території, зайнятої містом, $S_{\text{тер}}$;

S – площа території, на якій розгортається система стільникового зв'язку, км².

2.3 Проектування та дослідження високошвидкісних безпроводових мереж LTE

Спочатку визначаємо максимальну пропускну здатність БС в секторі (реальна пропускна здатність буде дещо нижча через каналне кодування і наявність циклічної приставки) R , Мбіт/с:

$$R = \frac{n_{\text{чк_с}} \cdot N_{\text{рб}} \cdot n_{\text{пн}} \cdot N_{\text{сим}}^{\text{рб}} \cdot V_{\text{сс}} \cdot m}{T_{\text{рб}}}, \quad (2.4)$$

де $N_{\text{рб}}$ – кількість ресурсних блоків у виділеній смузі частот радіоканалу (табл. 2.3);

$n_{\text{пн}}$ – кількість носійних частот в ресурсному блоці, $n_{\text{пн}} = 12$;

$N_{\text{сим}}^{\text{рб}}$ – кількість символів OFDM в часовому слоті, що утворює ресурсний блок,

$N_{\text{сим}}^{\text{рб}} = 7$;

$V_{\text{сс}}$ – швидкість каналного коду, $V_{\text{сс}} = 1/3$;

m – кількість рівнів модуляції, біт/символ;

$T_{\text{рб}}$ – тривалість часового слоту, що утворює ресурсний блок, $T_{\text{рб}} = 0,5$ мс.

Кількість рівнів модуляції m визначимо з виразу:

$$m = k \cdot \log_2 M', \quad (2.5)$$

де M' – кількість можливих станів модуляції (максимальна пропускна здатність буде при 64 – QAM, отже $M' = 64$);

k – коефіцієнт, що враховує застосування технології MIMO (для схеми MIMO 2x2

$k = 2$, за відсутності технології MIMO $k = 1$).

Таблиця 2.1 – Залежність кількості ресурсних блоків $N_{\text{рб}}$ від ширини смуги каналу $\Delta f_{\text{к}}$

Ширина смуги каналу $\Delta f_{\text{к}}$, МГц	1,25	2,5	5	10	15	20
Смуга, зайнята однією носійною, кГц	15					
Смуга ресурсного блоку на фізичному рівні, кГц	180					
Можлива кількість ресурсних блоків $N_{\text{рб}}$	6	12	25	50	75	100

Визначаємо кількість абонентів в стільнику $N_{аб_с}$:

$$N_{аб_с} = \frac{M \cdot R}{R_{аб}} \cdot k_{os}, \quad (2.6)$$

де $R_{аб}$ – гарантована швидкість для одного абонента, Мбіт/с;

k_{os} – коефіцієнт, який враховує, що для заданого виду трафіку кількість користувачів може бути збільшено через конкурентний доступ до середовища (oversubscription ratio, табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Значення коефіцієнту конкурентного доступу k_{os} для різних видів трафіку

Сервіс	k_{os}
Веб-трафік	10...25
VoIP	5...10
Відео-, аудіосервіси	1
Відеоконференції	1...2
Ігри через інтернет	5...10

Визначаємо кількість базових станцій:

$$N_{БС} = \frac{N_A}{N_{аб_с}}, \quad (2.7)$$

та радіус стільника:

$$R_{ст} = \sqrt{\frac{2S}{3\sqrt{3}N_{БС}}}. \quad (2.8)$$

Висновки до розділу

1. Програма Atoll – відкрита, масштабована, гнучка мультитехнологічна платформа проектування мережі та її оптимізації, яка підтримує технології

безпроводових операторів від початкового проекту мережі до її ущільнення і оптимізації. Atoll містить розширені мультитехнологічні засоби планування (GSM/UMTS/LTE, CDMA2000/LTE), комбінований Single-RAN Multi-RAT GSM/UMTS/LTE симулятор за методом Монте-Карло.

2. Для безпроводової мережі Atoll підтримує множинний доступ для різних частотних груп, надає можливість моделювання послуг передавання голосу та даних, обладнання користувача із врахуванням різних типів місцевості. Atoll забезпечує розширений алгоритм планування та проектування безпроводової мережі з можливістю корегувати вхідні дані та робити більш розгорнуті налаштування параметрів.

3. Методика розрахунку основних параметрів 3G та 4G полягає в визначенні необхідної кількості частотних каналів та потенційної кількості абонентів, розрахунку пропускної здатності передавача БС в секторі та необхідної кількості БС і радіуса стільника.

3 РОЗРАХУНОК ТА МОДЕЛЮВАННЯ БЕЗПРОВОДОВИХ МЕРЕЖ У ПРОГРАМІ ATOLL

3.1 Вихідні дані для моделювання. Розрахунок необхідної кількості базових станцій для 3G UMTS

Виконаємо розрахунки для системи UMTS. Вихідні дані для розрахунку наведено у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Початкові дані для розрахунку мережі UMTS

FR , МГц	F , МГц	Δf_k , МГц	M	C	$R_{аб}$, Мбіт/с	HSPA	Тип трафіку
2100	30	5	3	1	2	є	Веб-трафік

1. Визначимо загальну кількість частотних каналів, виділених для розгортання мережі безпроводового зв'язку:

$$n_k = \frac{F}{\Delta f_k} = \frac{30 \cdot 10^6}{5 \cdot 10^6} = 6$$

2. Визначимо кількість частотних каналів для обслуговування абонентів в одному секторі одного стільника:

$$n_{чк_с} = \frac{n_k}{M \cdot C} = \frac{6}{3 \cdot 1} = 2,$$

3. Визначимо кількість потенційних абонентів.

За умовами планування мережі здійснюється на території площею 4 км². Щільність населення міста Києва згідно перепису 1.10.2018 року, складає 3509 осіб/км².

$$\rho = 3509 \text{ осіб/км}^2; \mu = 0,5; S = 4 \text{ км}^2.$$

$$N_A = Z \cdot \mu \cdot \rho \cdot S = 0,8 \cdot 0,5 \cdot 3509 \cdot 4 \approx 5615 \text{ аб.}$$

4. Визначаємо максимальну кількість каналних ресурсів N , які надають $n_{\text{чк_с}}$ передавачів БС в секторі:

$$N = \text{int}\left(n_{\text{чк_с}} \frac{\frac{W}{R_{\text{аб}}}}{\frac{E_b}{N_0} \cdot \nu \cdot (1+i)} \cdot k\right) = \left(2 \cdot \frac{\frac{3.84 \cdot 10^6}{2 \cdot 10^6}}{1.4 \cdot 1 \cdot (1+0.65)} \cdot 4\right) = 7$$

де W – чіпова швидкість, Мчіп/с (для UMTS HSPA $W = 3,84$ Мчіп/с);

$R_{\text{аб}}$ – абонентська швидкість, Мбіт/с;

E_b/N_0 – відношення енергії біта до спектральної густини потужності шуму, $E_b/N_0 = 1.2$ дБ – для даних;

ν – коефіцієнт активності абонента, $\nu = 1$ – для даних;

i – співвідношення потужностей завад від користувачів, що знаходяться поза стільником, до завад від користувачів всередині стільника, $i = 0,65$ – для три секторних антен (при $M = 3$);

k – коефіцієнт, що визначає зростання пропускної здатності системи у випадку використання технології HSPA (за відсутності HSPA $k = 1$).

5. Визначимо кількість абонентів в стільнику $N_{\text{аб_с}}$:

$$N_{\text{аб_с}} = M \cdot N \cdot k_{\text{ос}} = 3 \cdot 7 \cdot 25 = 525$$

6. Визначимо кількість базових станцій за формулою (2.7):

$$N_{\text{БС}} = \frac{5615}{525} \approx 11.$$

7. Визначимо радіус стільника за формулою (2.8):

$$R_{\text{ст}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 4}{3\sqrt{3} \cdot 11}} = 0,374 \text{ км} = 374 \text{ м.}$$

3.2 Вихідні дані для моделювання. Розрахунок необхідної кількості базових станцій для 4G LTE

Виконаємо розрахунки для системи LTE. Вихідні дані для розрахунку наведено у табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Початкові дані для розрахунку мережі LTE

FR , МГц	F , МГц	Δf_k , МГц	M	C	$R_{аб}$, Мбіт/с	Схема МІМО	Тип трафіку
1800	10	10	3	1	5	2x2	Веб-трафік

1. Визначимо загальну кількість частотних каналів, виділених для розгортання мережі безпроводового зв'язку за формулою (2.1):

$$n_k = \text{int}\left(\frac{10}{10}\right) = 1.$$

2. Визначимо кількість частотних каналів для обслуговування абонентів в одному секторі одного стільника за формулою (2.2):

$$n_{чк_с} = \text{int}\left(\frac{1}{3 \cdot 1}\right) = 1.$$

3. Визначимо кількість потенційних абонентів за формулою (2.3).

За умовами планування мережі здійснюється на території площею 4 км². Щільність населення міста Києва згідно перепису 1.10.2018 року, складає 3509 осіб/км².

$$\rho = 3509 \text{ осіб/км}^2; \mu = 0,4; S = 4 \text{ км}^2.$$

$$N_A = 0,8 \cdot 0,4 \cdot 3509 \cdot 4 \approx 4492 \text{ аб.}$$

4. Визначимо максимальну пропускну здатність БС в секторі (реальна пропускна здатність буде дещо нижча через канальне кодування і наявність циклічної приставки) R , Мбіт/с, за формулами (2.4) та (2.5):

$$m = k \cdot \log_2 M', \quad M' = 64, \quad k = 2, \quad m = 2 \cdot \log_2 64 = 12.$$

$$R = \frac{1 \cdot 50 \cdot 12 \cdot 7 \cdot \frac{1}{3} \cdot 12}{0,5 \cdot 10^{-3}} = 33,6 \text{ Мбіт/с.}$$

5. Визначимо кількість абонентів в стільнику $N_{\text{аб}_c}$ за формулою (2.6):

$$N_{\text{аб}_c} = \frac{3 \cdot 33,6}{5} \cdot 25 = 504.$$

6. Визначимо кількість базових станцій за формулою (2.7):

$$N_{\text{БС}} = \frac{4492}{504} \approx 9.$$

7. Визначимо радіус стільника за формулою (2.8):

$$R_{\text{ст}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 4}{3\sqrt{3} \cdot 9}} = 0,413 \text{ км} = 413 \text{ м.}$$

3.3 Моделювання радіопокриття у програмі Atoll для 3G UMTS

Моделювання радіопокриття виконаємо для центральної частини міста Києва площею 4 км². Прийmemo висоту підвісу антени БС рівною 30 метрам. Для формування стільників використаємо направлені антени шириною діаграми направленості 65 град. Після налаштування

параметрів[10] розташовуємо БС на карті міста[11]. Спочатку встановлюємо одну БС (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 - Розташування БС на карті

Після налаштування параметрів розташовуємо БС на карті міста і виконуємо моделювання радіопокриття мережі 3G UMTS (рис 3.2).

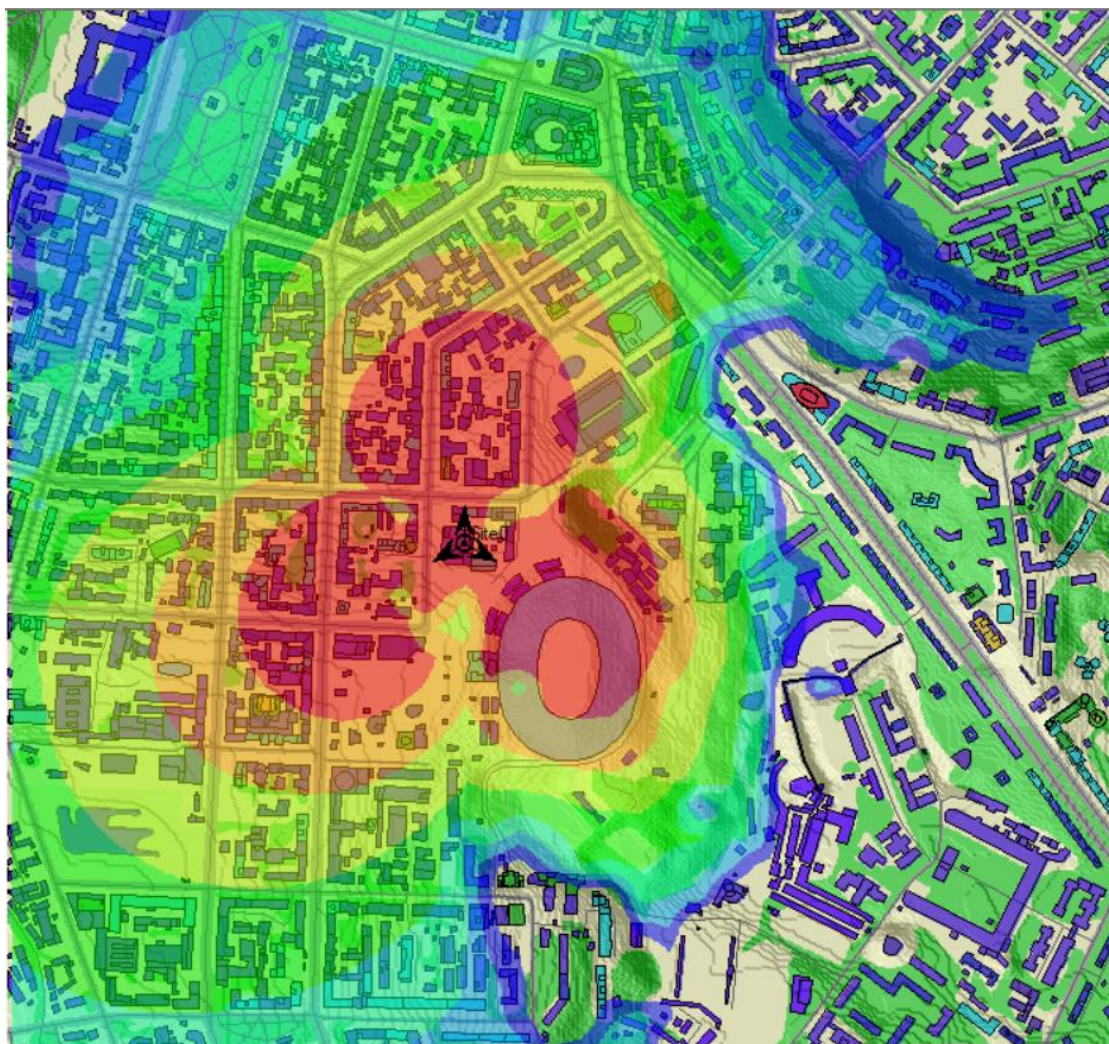


Рисунок 3.2 - Результат моделювання радіопокриття за рівнем сигналу

Після цього отримаємо статистику радіопокриття та статистику радіопориття за пропускною здатністю (рис. 3.3 – рис. 3.4).

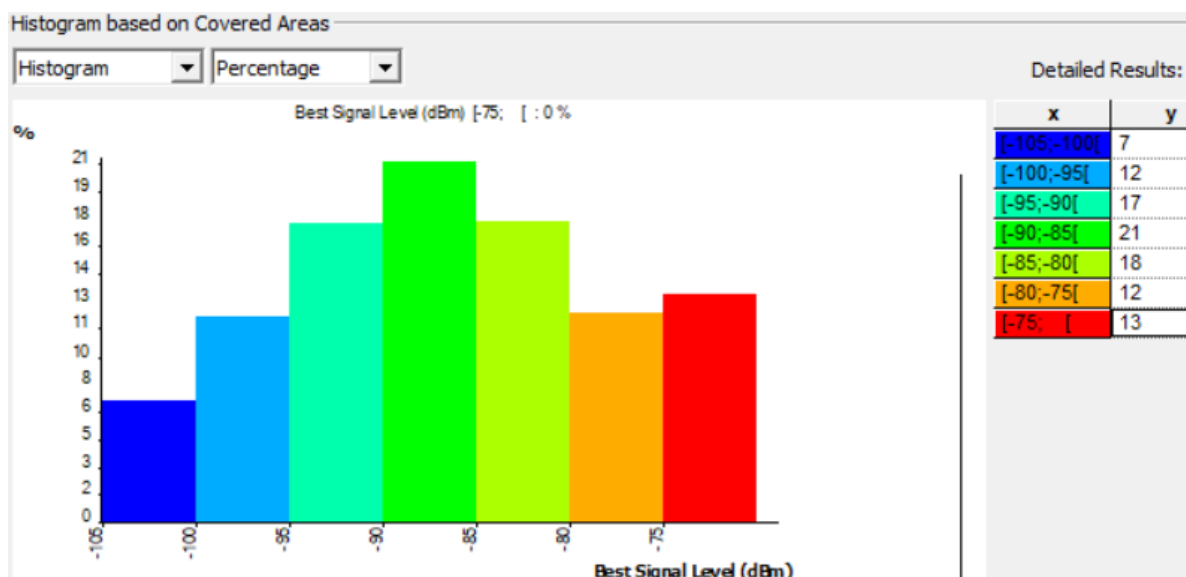


Рисунок 3.3 - Гістограма відсоткової статистики радіопокриття

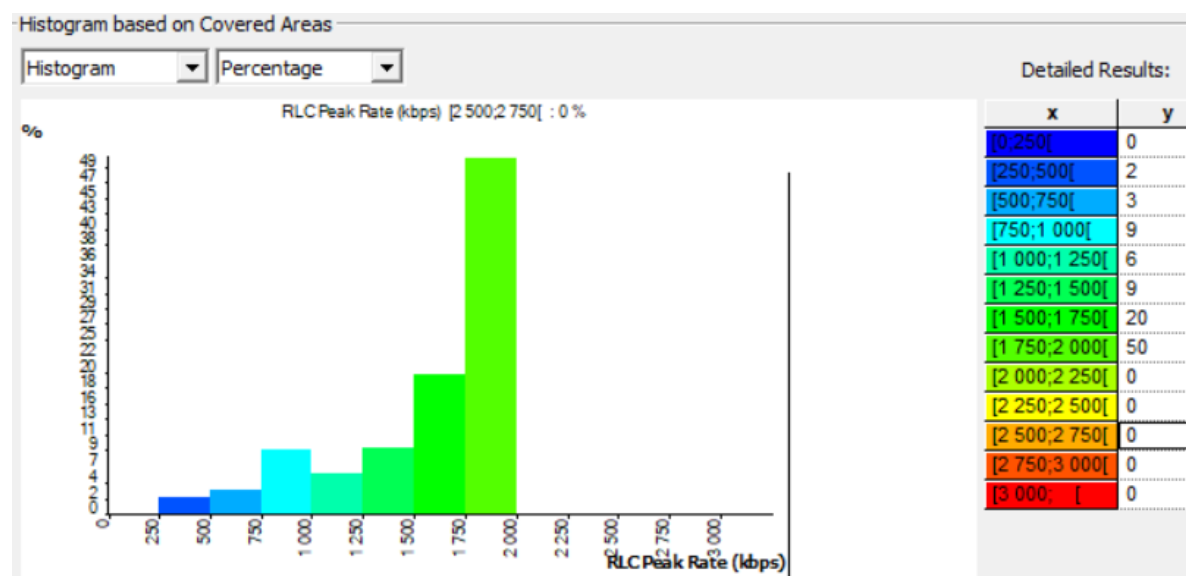


Рисунок 3.4 - Гістограма відсоткової статистики радіопокриття за пропускнуою здатністю при використанні технології HSDPA

На рисунку 3.3 зображено гістограму відсоткової статистики радіопокриття за рівнем сигналу. На основі даних гістограми можна зробити висновок, що прийнятний рівень сигналу (-75...-105 дБм) є на 70% покритої території.

На рисунку 3.4 зображено гістограму відсоткової статистики радіопокриття за пропускнуою здатністю при використанні технології

HSDPA. На отриманих даних можна зробити висновок, 85% території забезпеченої радіопокриттям, на якій задовільна пропускна здатність буде складати:

- 1,75 - 2 Мбіт/с на 50% території забезпеченої радіопокриттям;
- 1,5 - 1,75 Мбіт/с на 20% території забезпеченої радіопокриттям;
- 1,25 - 1,5 Мбіт/с на 9% території забезпеченої радіопокриттям;
- 1 – 1,25 Мбіт/с на 6% території забезпеченої радіопокриттям.

Далі встановлюємо 11 БС приблизно дотримуючись стільникової структури, за пунктом 3.1. та виконуємо моделювання радіопокриття мережі 3G UMTS на рис. 3.5.

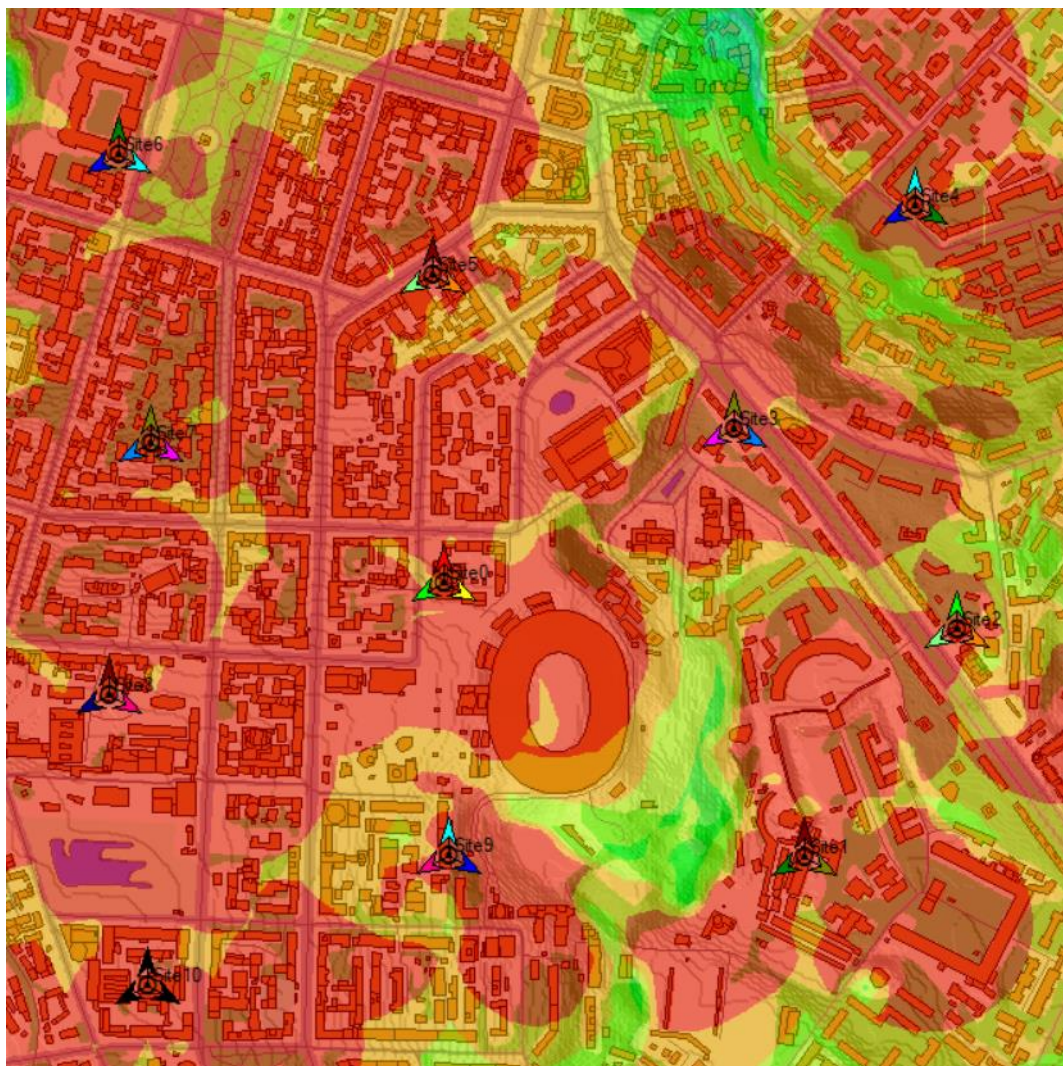


Рисунок 3.5 - Результат моделювання радіопокриття з 11 БС за рівнем сигналу

Після цього отримаємо статистику радіопокриття та статистику радіопориття за пропускною здатністю з 11 БС (рис. 3.6 – рис. 3.7).

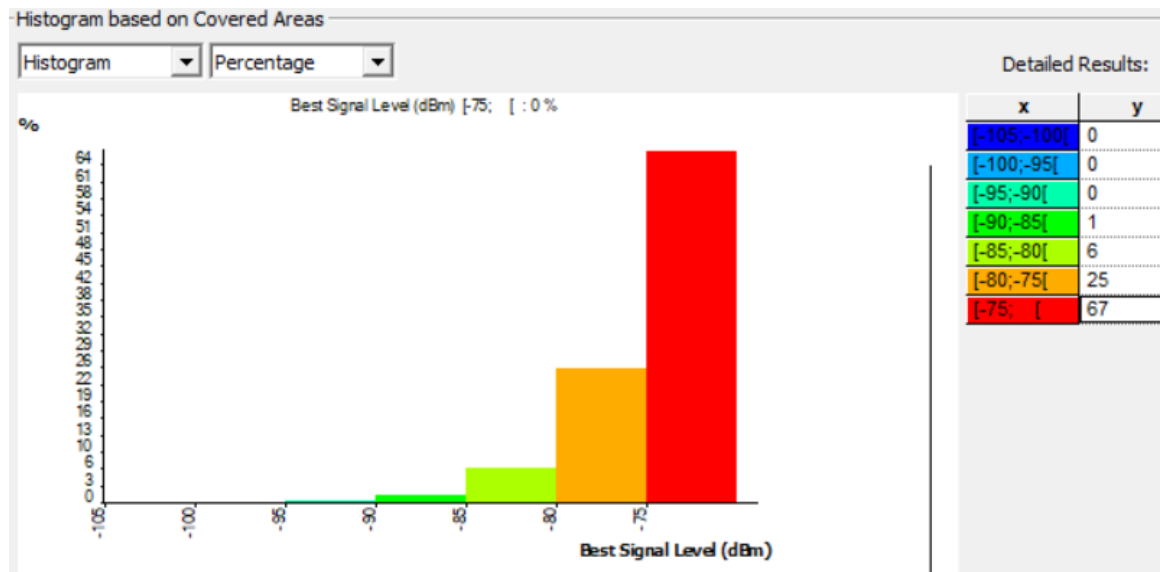


Рисунок 3.6 - Гістограма відсоткової статистики 3G UMTS покриття з 11 БС

На рисунку 3.6 зображено гістограму відсоткової статистики радіопокриття за рівнем сигналу. На основі даних гістограми можна зробити висновок, що прийнятний рівень сигналу (-75...-105 дБм) є на 99% покритої території.

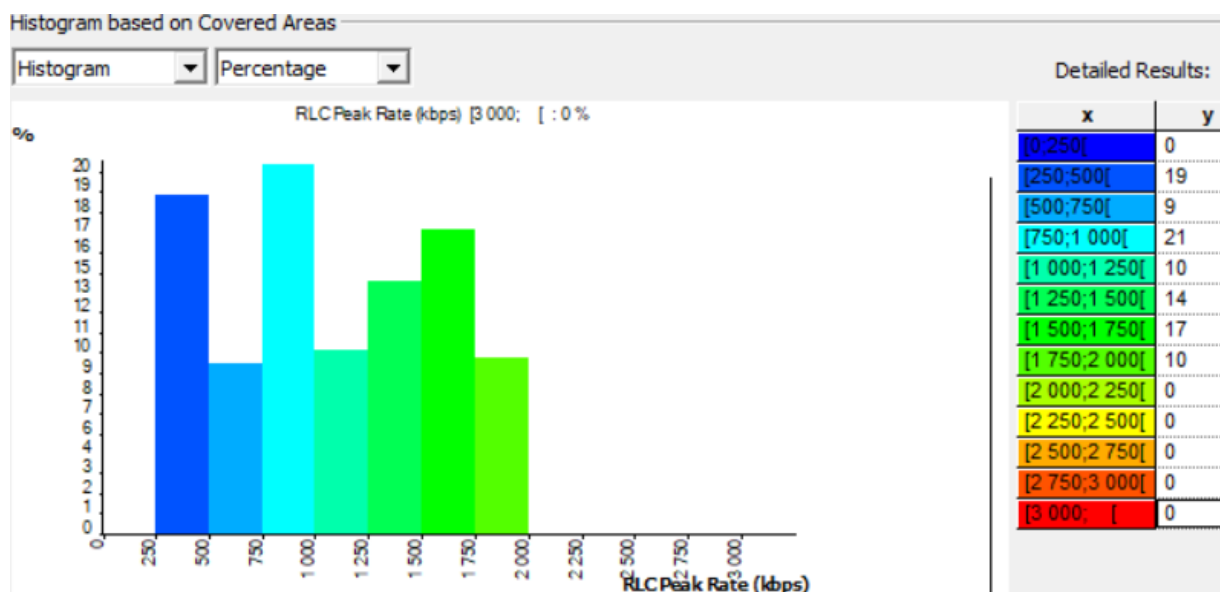


Рисунок 3.7 - Гістограма відсоткової статистики 3G UMTS покриття за пропускнуою здатністю з 11 БС при використанні технології HSDPA

На рисунку 3.7 зображено гістограму відсоткової статистики радіопокриття за пропускнуою здатністю при використанні технології HSDPA. На отриманих даних можна зробити висновок, 51% території забезпеченої радіопокриттям, на якій задовільна пропускна здатність буде складати:

- 1,75 - 2 Мбіт/с на 10% території забезпеченої радіопокриттям;
- 1,5 - 1,75 Мбіт/с на 17% території забезпеченої радіопокриттям;
- 1,25 - 1,5 Мбіт/с на 14% території забезпеченої радіопокриттям;
- 1 – 1,25 Мбіт/с на 10% території забезпеченої радіопокриттям.

3.4 Моделювання радіопокриття у програмі Atoll для 4G LTE

Моделювання радіопокриття виконаємо для центральної частини міста Києва площею 4 км². Прийнемо висоту підвісу антени БС рівною 30 метрам. Для формування стільників використаємо направлені антени шириною діаграми направленості 65 град. Після налаштування параметрів

розташовуємо БС на карті міста. Спочатку встановлюємо одну БС (рис. 3.8).



Рисунок 3.8 - Розташування БС на карті

Після налаштування параметрів розташовуємо БС на карті міста і виконуємо моделювання радіопокриття мережі 4G LTE (рис 3.9).

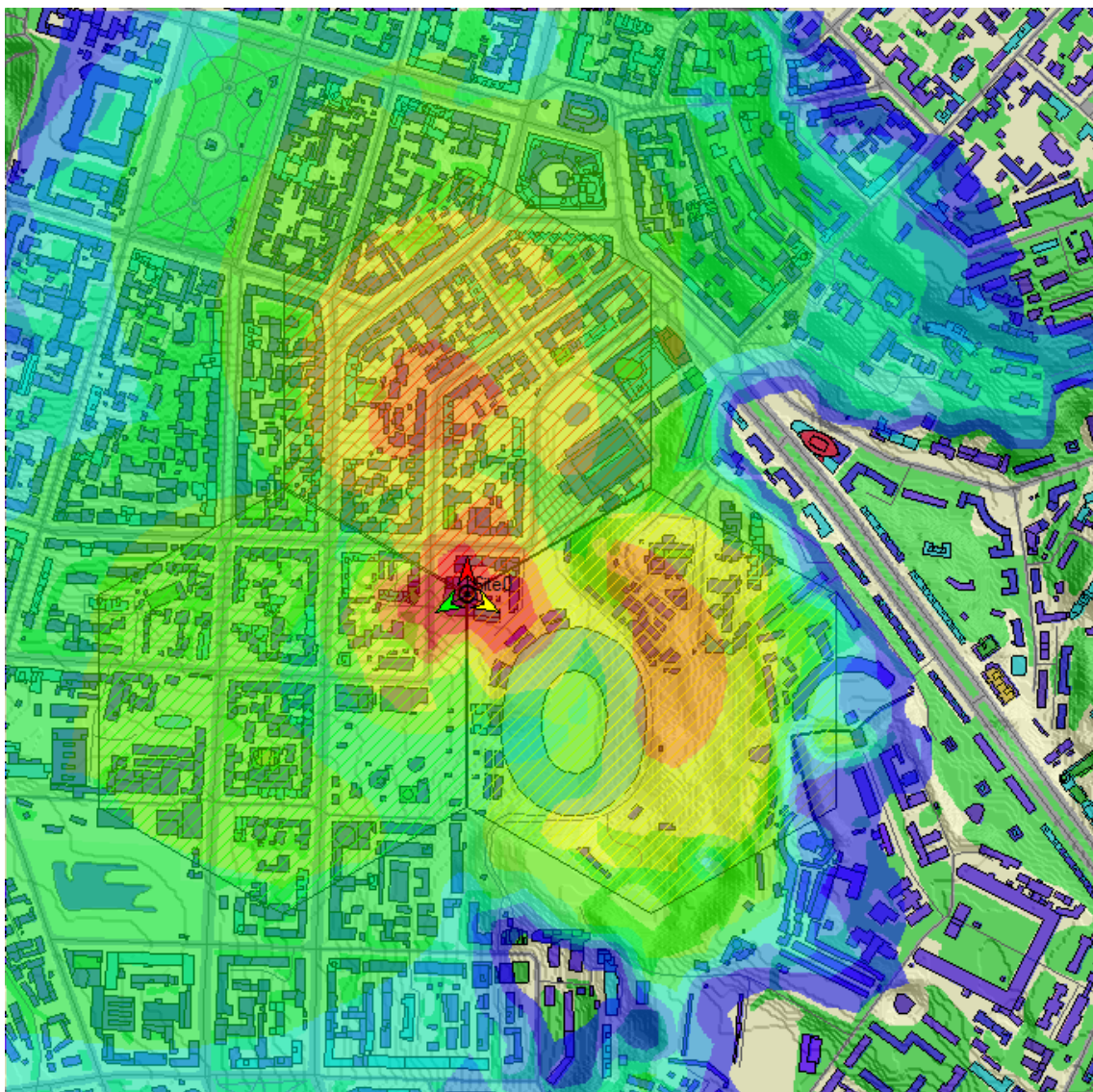


Рисунок 3.9 - Результат моделювання радіопокриття за рівнем сигналу

Після цього отримаємо статистику радіопокриття та статистику радіопориття за пропускнуою здатністю (рис. 3.10 – рис. 3.11).

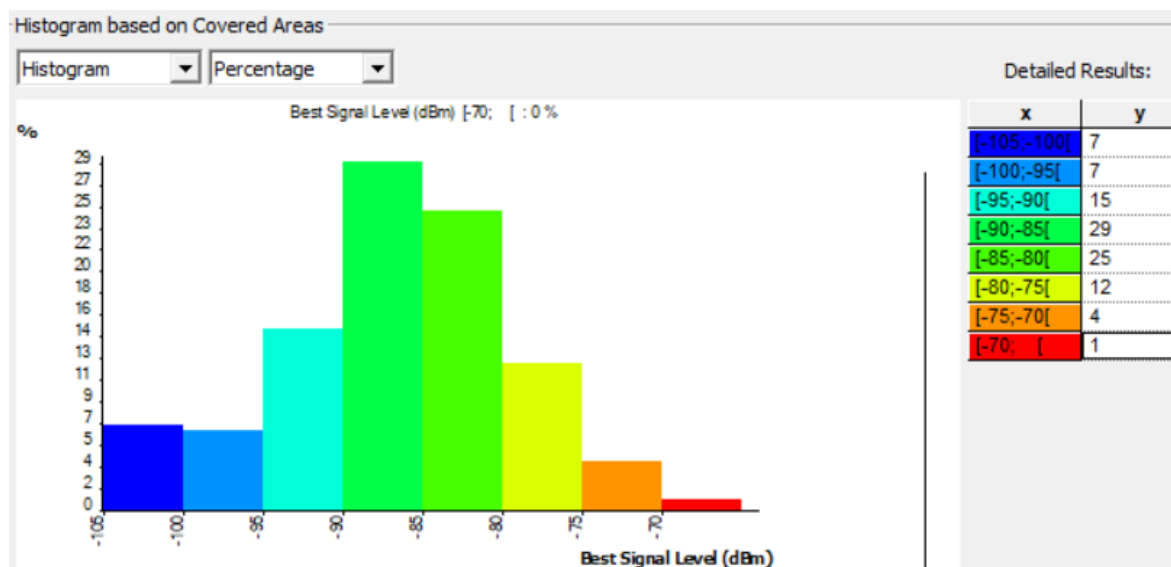


Рисунок 3.10 - Гістограма відсоткової статистики радіопокриття

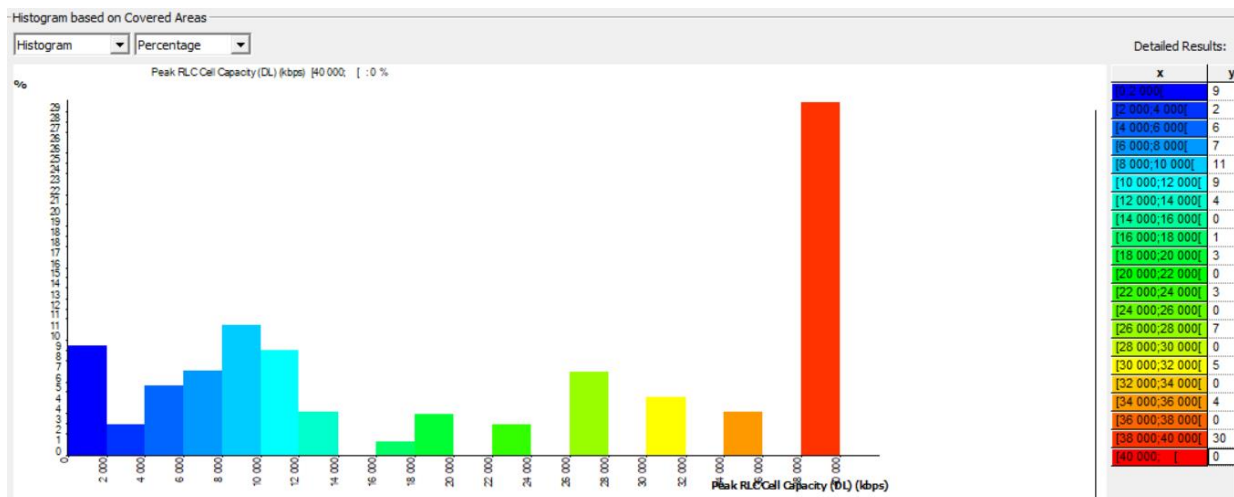


Рисунок 3.11 - Гістограма відсоткової статистики радіопокриття за пропускну здатністю

На рисунку 3.10 зображено гістограму відсоткової статистики радіопокриття за рівнем сигналу. На основі даних гістограми можна зробити висновок, що прийнятний рівень сигналу (-75...-105 дБм) є на 80% покритої території.

На рисунку 3.11 зображено гістограму відсоткової статистики радіопокриття за пропускну здатністю. На отриманих даних можна зробити висновок, що 80% території, яка забезпечена радіопокриттям, має таку пропускну здатність:

- 30 - 40 Мбіт/с на 39% території забезпеченої радіопокриттям;
- 20 - 30 Мбіт/с на 10% території забезпеченої радіопокриттям;
- 10 - 20 Мбіт/с на 17% території забезпеченої радіопокриттям;
- 0 – 10 Мбіт/с на 34% території забезпеченої радіопокриттям.

Далі встановлюємо 9 БС приблизно дотримуючись стільникової структури, за пунктом 3.2. та виконуємо моделювання радіопокриття мережі 4G LTE на рис. 3.12.

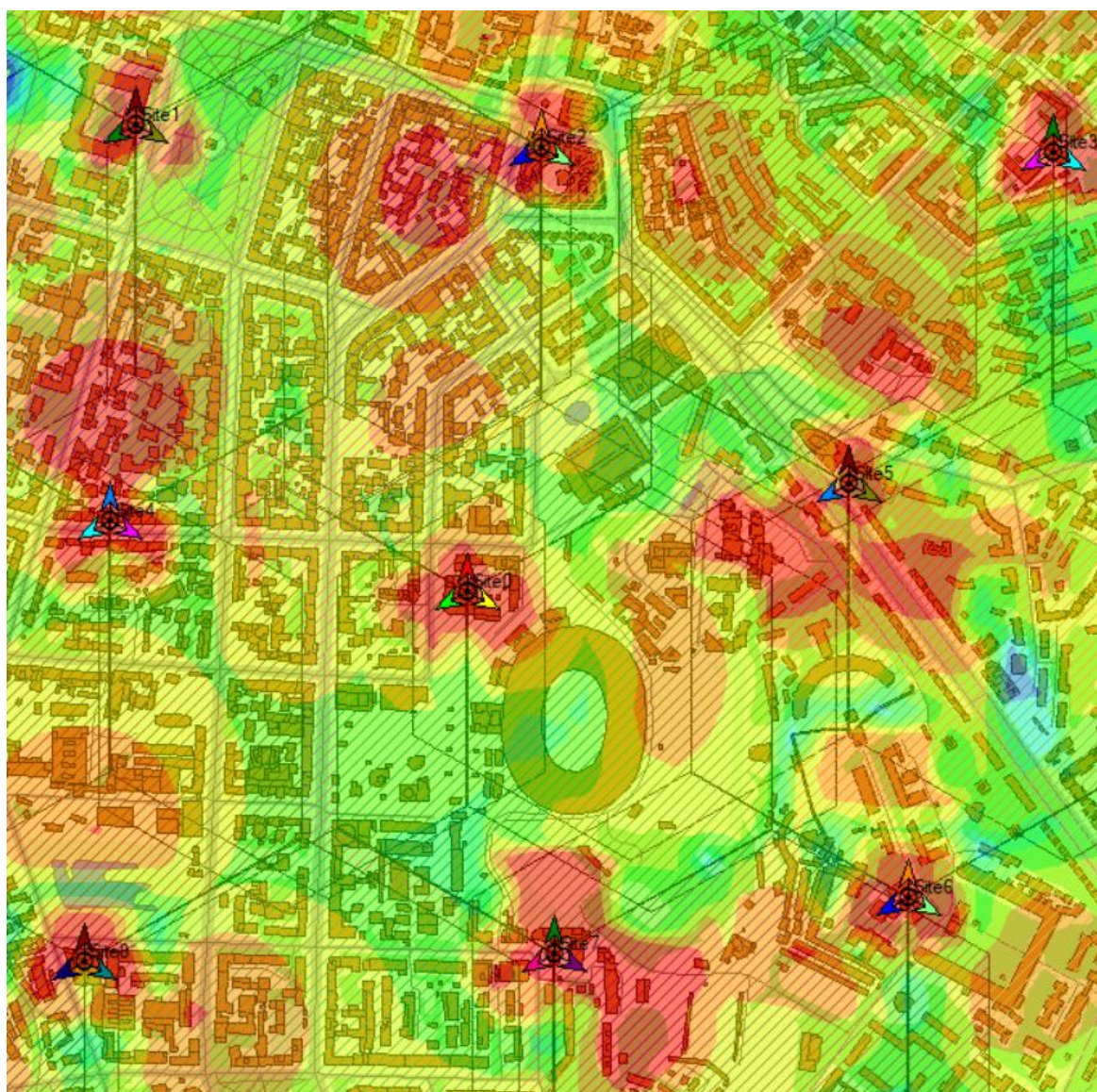


Рисунок 3.12 - Результат моделювання радіопокриття з 9 БС за рівнем сигналу

Після цього отримаємо статистику радіопокриття та статистику радіопориття за пропускною здатністю з 9 БС (рис. 3.13 – рис. 3.14).

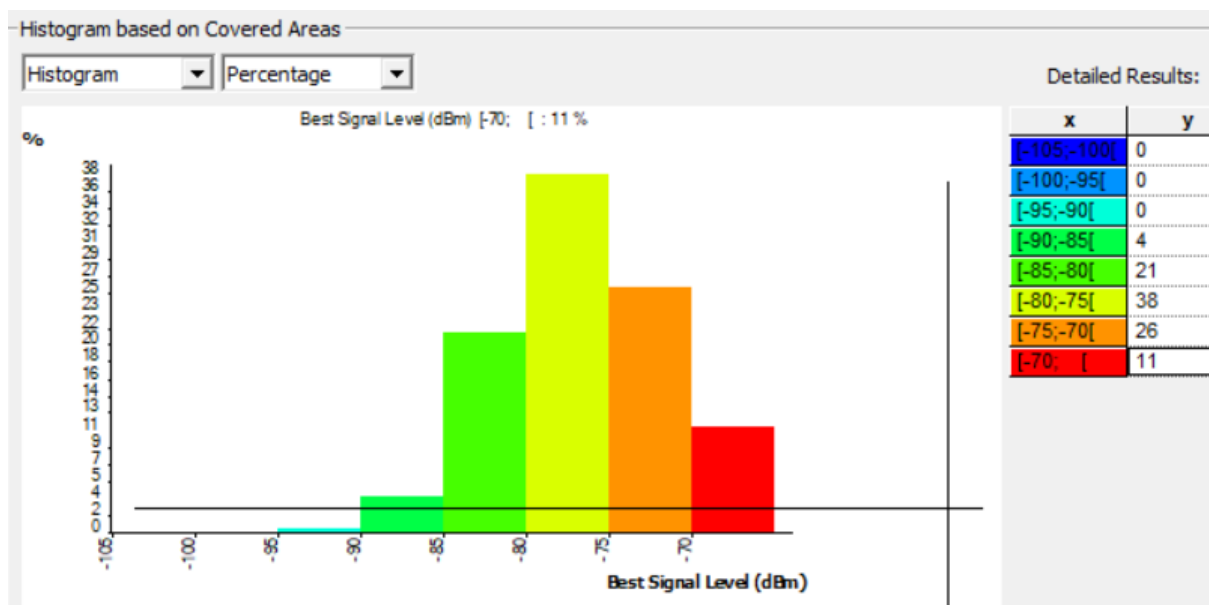


Рисунок 3.13 - Гістограма відсоткової статистики 4G LTE покриття з 9 БС

На рисунку 3.13 зображено гістограму відсоткової статистики радіопокриття за рівнем сигналу. На основі даних гістограми можна зробити висновок, що прийнятний рівень сигналу (-75...-105 дБм) є на 100% покритої території.

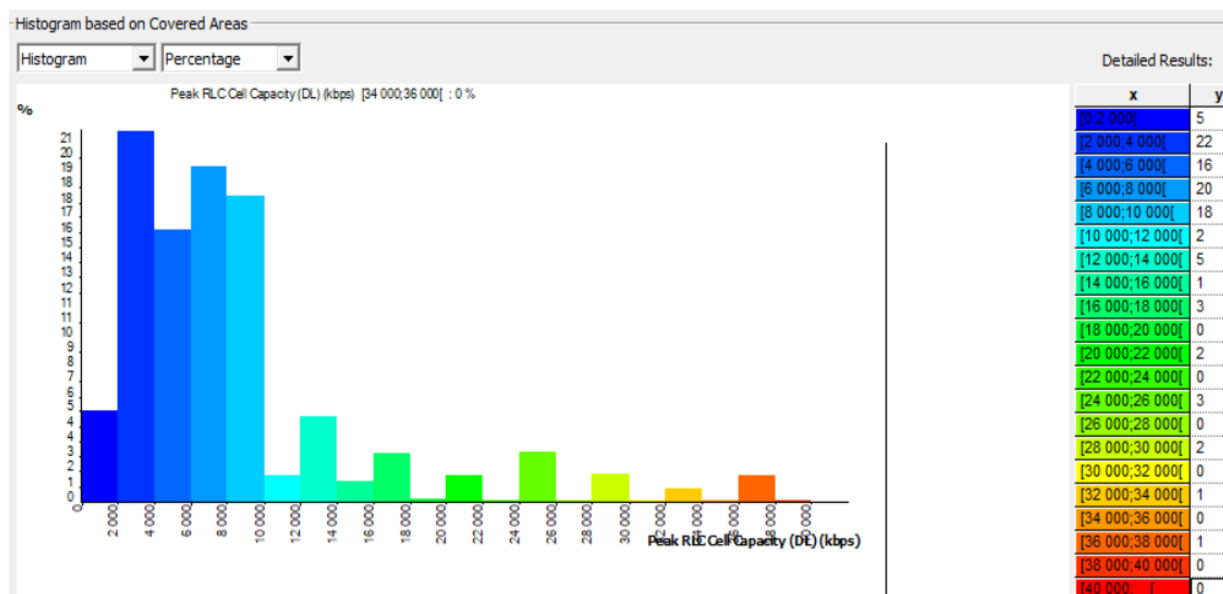


Рисунок 3.14 - Гістограма відсоткової статистики 4G LTE покриття за пропускнуою здатністю з 9 БС

На рисунку 3.14 зображено гістограму відсоткової статистики радіопокриття за пропускнуою здатністю. На отриманих даних можна зробити висновок, що 100% території, яка забезпечена радіопокриттям, має таку пропускну здатність:

- 30 - 40 Мбіт/с на 2% території забезпеченої радіопокриттям;
- 20 - 30 Мбіт/с на 7% території забезпеченої радіопокриттям;
- 10 - 20 Мбіт/с на 11% території забезпеченої радіопокриттям;
- 0 - 10 Мбіт/с на 80% території забезпеченої радіопокриттям.

Висновки до розділу

1. Проведено розрахунки параметрів для проектування телекомунікаційної мережі 3G UMTS та 4G LTE. Параметри розраховано для розгортання мережі на території площею 4 км², що відповідає частині м. Києва. Розраховано радіус стільника 3G UMTS (374 м.) та 4G LTE (413 м.), кількість абонентів в стільнику 3G UMTS (525 аб.) та 4G LTE (504 аб.) та кількість БС 3G UMTS (11 шт.) та 4G LTE (9 шт.).

2. Виконано 2 моделювання безпроводової мережі 3G UMTS на території площею 4 км² в програмному середовищі Atoll з використанням 1 БС та 11 БС. За результатами моделювання:

- 1 БС - 70% території забезпечено радіопокриттям, на якому рівень сигналу буде складати: -75...-105 дБм. Крім того, 85% території забезпеченої радіопокриттям, на якій пропускна здатність буде складати: 1,75 - 2 Мбіт/с на 50% території; 1,5 - 1,75 Мбіт/с на 20% території; 1,25 - 1,5 Мбіт/с на 9% території; 1 – 1,25 Мбіт/с на 6% території;
- 11 БС - 99% території забезпечено радіопокриттям, на якому рівень сигналу буде складати: -75...-105 дБм. Крім того, 51% території забезпеченої радіопокриттям, на якій пропускна здатність буде складати: 1,75 - 2 Мбіт/с на 10% території; 1,5 - 1,75 Мбіт/с на 17% території; 1,25 - 1,5 Мбіт/с на 14% території; 1 – 1,25 Мбіт/с на 10% території.

3. Виконано 2 моделювання безпроводової мережі 4G LTE на території площею 4 км² в програмному середовищі Atoll з використанням 1 БС та 9 БС. За результатами моделювання:

- 1 БС - 80% території забезпечено радіопокриттям, на якому рівень сигналу буде складати: -75...-105 дБм. Крім того, 80% території, яка забезпечена радіопокриттям, має таку пропускну здатність: 30 - 40 Мбіт/с на 39% території; 20 - 30 Мбіт/с на 10% території; 10 - 20 Мбіт/с на 17% території; 0 – 10 Мбіт/с на 34% території;
- 9 БС - 100% території забезпечено радіопокриттям, на якому рівень сигналу буде складати: -75...-105 дБм. Крім того, 100% території, яка забезпечена радіопокриттям, має таку пропускну здатність: 30 - 40 Мбіт/с на 2% території; 20 - 30 Мбіт/с на 7% території; 10 - 20 Мбіт/с на 11% території; 0 - 10 Мбіт/с на 80% території.

4. В результаті моделювання можна зробити висновок, що технологія 4G LTE забезпечує краще покриття та кращу швидкість передавання на всій території, ніж 3G UMTS. Також для покриття території технологією LTE потрібно менше базових станцій, ніж UMTS, оскільки БС від 4G може обробляти більшу кількість абонентів з більшим радіусом дії, ніж 3G

4 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ ЗА ТЕМОЮ МАГІСТРЕСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ

В межах даного розділу проаналізовано та подано у вигляді таблиць:

- зміст ідеї (що пропонується);
- можливий напрямок застосування;
- основні вигоди, що може отримати користувач послуги;
- відмінність від існуючих аналогів та замінників.

4.1 Опис ідеї проекту

Перші три пункти описані в табл. 4.1 і дають цілісне уявлення про зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів.

Таблиця 4.1 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямок застосування	Вигоди від користувача
Сервіс аналізу вимог до безпроводових системи зв'язку, надання її ПЗ та налагоджування.	Телекомунікаційні системи та мережі нового покоління	Висока швидкість передавання даних
		Аналіз можливості передачі даних без розширення смуги частот
		Мінімальне зниження бітової швидкості зі зростанням абонентів в мережі.
		Забезпечення інтернет-покриттям місць з великим скупченням людей.

Аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї (відмінність від існуючих аналогів та замінників) порівняно із пропозиціями конкурентів передбачає:

- визначення переліку техніко-економічних властивостей та характеристик;
- визначення попереднього кола конкурентів (проектів-конкурентів) або послуг-замінників чи послуг-аналогів, що вже існують на ринку, та збір інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів-конкурентів відповідно до визначеного вище переліку;
- порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначаються показники, що мають: а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращі значення (S, сильні) (табл. 4.2).

Таблиця 4.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№	Техніко-економічні характеристики ідеї	(Потенційні) послуги/концепції конкурентів			W	N	S
		Мій проект	Послуга-аналог 1	Послуга-аналог 2			
1.	Економічні	Низька ціна	Середня ціна	Висока ціна			+
2.	Призначення	Можливість використання усіх поколінь безпроводового зв'язку при моделюванні мережі	Можливість використання 4 та 5 покоління безпроводового зв'язку при моделюванні мережі	Можливість використання усіх поколінь безпроводового зв'язку при моделюванні мережі в 2D та 3D картах		+	
3.	Технологічні	Бази програми можна оновлювати та додавати нові технології	Можна використовувати тільки нові технології	Бази програми можна оновлювати та додавати нові технології, але за додаткову плату			+

Продовження табл. 4.2

4.	Ергономічні	Система проста та зрозуміла в користуванні та налаштуванні	Система зручна в користуванні, але важка в налаштуванні	Система складна в користуванні та налаштуванні			+
5.	Безпеки	Безпечно	Безпечно	Безпечно		+	

Визначений перелік слабких, сильних та нейтральних характеристик та властивостей ідеї потенційної послуги є підґрунтям для формування його конкурентоспроможності.

4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу проведено аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту (технології створення послуги). Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз таких складових (табл. 4.3):

- технологія, за якою буде надано послугу згідно ідеї проекту;
- аналіз наявності таких послуг;
- доступність послуги автору проекту.

Таблиця 4.3 – Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технології	Доступність технологій
1.	Математичне дослідження характеристики мережі	Програмне середовище Mathcad	+	+

Продовження табл. 4.3

2.	Підбір карти місцевості та налаштування у програмі	Програмне забезпечення Atoll та підключення до мережі Інтернет	+	+
3.	Моделювання покриття	Програмне забезпечення Atoll	+	+

4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

Потенційні групи клієнтів, їх характеристики, орієнтовний перелік вимог до послуги для кожної групи наведено в табл. 4.4.

Таблиця 4.4 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до послуги
Гнучка система вибору параметрів, можливість редагування, аналізу мережі.	Системи мобільного зв'язку, радіозв'язку.	Поведінку клієнта формують потреби.	Повинен бути доступ до параметрів систем та безпроводових технологій, які використовує замовник.

Проведено аналіз ринкового середовища: складені таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають (табл. 4.5-4.6). Фактори в таблицях подані в порядку зменшення значущості.

Таблиця 4.5 – Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Нестача кваліфікованих кадрів	Для налаштування мережі потрібна кваліфіковані працівники з відповідним рівнем знань	Працевлаштування кваліфікованих працівників з досвідом роботи
2.	Нестача ресурсів	Для надання послуги потрібне програмне забезпечення	Укладання договорів з компаніями постачальниками ПЗ
3.	Фінансова нестабільність	Потреба в коштах для забезпечення необхідного для дослідження програмного забезпечення	Пошук інвесторів

Таблиця 4.6 – Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Попит	Існування постійного попиту на вдосконалення мережі означає, що клієнти зацікавлені у введенні інновацій	Рекламна діяльність, просування послуги у інтернеті
2.	Науково-технічний прогрес	Стрімкий ріст технологій та збільшення наукової бази дозволяють ефективно вирішити поставлені задачі	Ознайомлення з останніми патентами у відповідній галузі

Надалі проведено аналіз пропозиції: визначені загальні риси конкуренції на ринку (табл. 4.7).

Таблиця 4.7 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Тип конкуренції: монополія	На ринку присутні 5 компанія, які займаються дослідженням повного аналізу мережі та надання послуг системи зв'язку	Підвищувати якість послуги (досягати кращих показників) за рахунок використання передових технологій та залучення кваліфікованого персоналу
2. За рівнем конкурентної боротьби: міжнародний	Компанії-конкурент и знаходяться в Китаї, Америці та Європі	Створити веб-сайт компанії, що відповідатиме міжнародним стандартам
3. За галузевою ознакою: внутрішньогалузева	Економічна боротьба між надавачами послуг, які діють в одній галузі економіки, виробляють і реалізують однакові послуги, що задовольняють одну й ту саму потребу, але мають відмінності у виробничих затратах, якості, ціні	Слідкувати за розвитком продукту конкурента

Продовження табл. 4.7

4. Конкуренція за видами послуг: товарно-видова	Конкуренція між послугами одного виду	Покращувати рівень якості послуги
5. За характером конкурентних переваг: цінова	Передбачає продаж послуг за нижчими цінами ніж конкурент	Продавати послугу за помірною ціною
6. За інтенсивністю: марочна	В сучасній економічній ситуації боротьба носить явно виражений марочний характер, велике значення набуває брендинг	Реклама послуги, створення символіки продукту

Після аналізу конкуренції проведений більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі (за М. Портером) (табл. 4.8).

Сильні позиції компанії за кожним з факторів М. Портера означають її можливості забезпечити необхідні темпи обороту капіталу та її здатність впливати на інших агентів ринку, диктуючи їм власні умови співпраці. Характеристики факторів моделі відрізняються для різних галузей та змінюються із часом.

На основі аналізу конкуренції, наведеного в табл. 4.8, а також із урахуванням характеристик ідеї проекту (табл. 4.1), вимог споживачів до послуги (табл. 4.4) та факторів маркетингового середовища (табл. 4.5-4.6) визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності. Аналіз наведено в табл. 4.9.

Таблиця 4.8 – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти
	Інші компанії, що займаються розробкою та моделюванням безпроводових мереж	Немає	Немає	Вимоги до якості та точності моделювання
Висновки	Інтенсивність конкурентної боротьби є високою	Можливість виходу на ринок є	Постачальники не диктують умови роботи на ринку	Послуга має задовольняти вимоги клієнтів

Таблиця 4.9 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (чинники, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1.	Ступінь задоволення потреб користувача	Послуга має забезпечувати найкраще рішення для клієнта та встановлене ПЗ повинно працювати без помилок
2.	Сумісність з існуючими системами	Послуга не має створювати завад для інших систем
3.	Якість розробки з точки зору показників надійності	Послуга має забезпечувати достовірність рішення для клієнта
4.	Наявність кваліфікованих кадрів в команді	Науковці з досвідом та високим рівнем підготовки, які зацікавлені в дослідженні та розвитку мережі клієнта
5.	Економічний	Ціна послуги має бути помірною

На фінальному етапі ринкового аналізу можливостей впровадження проекту виконано SWOT-аналіз (матриця аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) (табл. 4.10). Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складено на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення.

На основі SWOT-аналізу розроблено альтернативи ринкової поведінки (перелік заходів) для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок. Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів (табл. 4.11).

Таблиця 4.10 – SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Економічна (ціна послуги є помірною). 2. Ступінь задоволення потреб користувача. 3. Якість розробки з точки зору показників надійності.
Слабкі сторони:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Нестача наукових та технічних ресурсів. 2. Нестійка позиція на ринку. 3. Вузькопрофільна діяльність. 4. Присутня конкуренції на національному ринку
Можливості:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Зниження витрат на ПЗ. 2. Покращення якості послуги. 3. Формування попиту на послугу за рахунок рекламної діяльності. 4. Розширення складу команди за рахунок пошуку цінних кадрів. 5. Нові технології
Загрози:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Несприятлива економічна ситуація в країні. 2. Додатковий державний контроль якості продукту. 3. Послуги-аналоги.

Таблиця 4.11 – Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1.	Пошук наукових та технічних ресурсів, пошук інвесторів, поглиблене дослідження, тестування, створення реклами.	75 %	2 роки
2.	Налагодження виробничого процесу, дослідження поведінки споживачів, пошук коштів, пошук наукових ресурсів, пошук обладнання, створення програмного забезпечення, тестування.	60%	3 роки

Із зазначених альтернатив обрано альтернативу № 1, так як для неї отримання ресурсів є більш ймовірним, а строки реалізації – більш стислими.

4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів, що наведено в табл. 4.12.

Таблиця 4.12 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1.	Державні установи	Готові	Низький	Низька	Середня

Продовження табл. 4.12

2.	Приватні підприємства	Готові	Високий	Низька	Середня
Які цільові групи обрано: обрано цільову групу №2.					

Для роботи в обраних сегментах ринку сформовано базову стратегію розвитку (табл. 4.13). Вибір стратегії конкурентної поведінки наведено в табл. 4.14.

Таблиця 4.13 – Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1.	Задоволенні потреб обраного цільового сегменту	Формування попиту у користувачів за рахунок унікальних характеристик та високої якості послуги	Стратегія спеціалізації

Таблиця 4.14 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект "першопрохідцем" на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики послуги конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
1.	Ні	Так	Ні	Стратегія лідера

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника (стартап-компанії) та до продукту (табл. 4.4), а також в залежності від обраної базової

стратегії розвитку (табл. 4.13) та стратегії конкурентної поведінки (табл. 4.14) розроблено стратегію позиціонування, наведену в табл. 4.15. Стратегія позиціонування полягає у формуванні ринкової позиції (комплексу асоціацій), за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельну марку/проект.

Таблиця 4.15 – Визначення стратегії позиціонування

№	Вимоги до послуги цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту
1.	Висока якість послуг	Стратегія диференціації	Гарант якості, точність моделювання	Якість, надійність, точність
2.	Мінімальні витрати	Стратегія лідерства по витратах	Універсальність запропонованого рішення	Дешевизна, універсальність

4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Першим кроком є формування маркетингової концепції послуги, який отримає споживач. Для цього у табл. 4.16 наведені результати попереднього аналізу конкурентоспроможності послуги.

Таблиця 4.16 – Визначення ключових переваг концепції потенційного послуги

Потреба	Вигода, яку пропонує послуга	Ключові переваги перед конкурентами
Висока швидкість розпізнавання та усунення вразливостей мережі	Швидка та якісний аналіз мережі та реалізація кращого рішення	Значно вища якість та нижча ціна

Розроблено три рівневі маркетингову модель послуги: уточнена ідея продукту (та/або послуги), його фізичні складові, особливості процесу його надання (табл. 4.17).

Таблиця 4.17 – Опис трьох рівнів моделі послуги

Рівні послуги	Сутність та складові		
I. Послуга за задумом	Моделювання радіопокриття для певної місцевості, з використанням правильного налаштування БС і встановлення у вірному місці для кращого покриття з мінімальними затратами.		
II. Послуга у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Забезпечення місцевості кращим радіопокриття.	М	
	2. Помірна ціна.	М	
	3. Забезпечення достовірності в результатах моделювання.	М	
	4. Використання кращих технологій радіопокриття.	М	
	Якість: стабільна робота		
III. Послуга із підкріпленням	До продажу: гарантія.		
	Після продажу: доставка, налаштування, обслуговування, підтримка.		

Наступним кроком визначено цінові межі, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар (остаточне визначення ціни відбувається під час фінансово-економічного аналізу проекту), яке передбачає аналіз ціни на товари-аналоги або товари субституту, а також аналіз рівня доходів цільової групи споживачів (табл. 4.18). Аналіз проведено експертним методом.

Таблиця 4.18 – Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1.	3000 - 5000 у.о.	7500 у.о.	Високий	2000 – 3000 у.о.

Наступним кроком визначено оптимальну системи збуту, в межах якої приймається рішення (табл. 4.19):

- збут власними силами або із залученням сторонніх посередників (власна або залучена система збуту);
- вибір та обґрунтування оптимальної глибини каналу збуту;
- вибір та обґрунтування виду посередників.

Таблиця 4.19 – Формування системи збуту

Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник послуги	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
Заказ послуги на сайті або безпосередньо у розробників	Встановлення контакту, інформування, поділ, зберігання	Канал нульового рівня	Виробник безпосередньо пропонує продукцію покупцям

Останньою складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів (табл. 4.20).

Маркетингова комунікація охоплює будь-яку діяльність підприємства, спрямовану на інформування, переконання, нагадування споживачам та ринку в цілому про свої товари і свою діяльність.

Таблиця 4.20 – Концепція маркетингових комунікацій

Специфіка поведінки цільових клієнтів	Використання послуги для моделювання безпроводової мережі шляхом розпізнавання та усунення вразливостей мережі. Використання у комерційних цілях
Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Прямі - канали комунікації, в яких інформація передається безпосередньо від інформатора до інформованої особи
Ключові позиції, обрані для позиціонування	Висока точність розпізнавання та усунення вразливостей мережі. Помірна ціна
Завдання рекламного повідомлення	Поширення знань про підприємство
Концепція рекламного звернення	Відмінність між послугою і послугами-замінниками.

Висновки

1. За результатами попереднього оцінювання ринок є привабливим для входження. Спостерігається попит на системи моделювання радіопокриття, що забезпечують якісну інтеграцію та експлуатацію мережі. Можливість ринкової комерціалізації проекту присутня.

2. Послуга не є унікальною в своїй галузі, конкуренти на національному ринку є, але послуга дешева та зручна у використанні. Для подальшого дослідження, розробки та тестування потрібно залучати висококваліфікованих науковців та інженерів.

3. Для ринкової реалізації проекту доцільно обрати альтернативу – пошук наукових та технічних ресурсів, залучення інвесторів, створення реклами, взаємодія зі споживачами.

4. Впровадження є перспективним, адже основними групами клієнтів є великі компанії та корпорації, державні підприємства, міські та обласні адміністрації, приватні компанії, що працюють в цій сфері.

ВИСНОВКИ

1. Досліджено характеристики безпроводових мереж 3G UMTS. Технологія 3G – це покоління технології мобільного зв'язку, яке забезпечує високошвидкісний мобільний доступ до мережі Інтернет та технологію радіозв'язку. Мережі 3G працюють на частотах дециметрового діапазону (близько 2 ГГц), швидкість передачі даних становить понад 2 Мбіт/с. UMTS – це технологія стільникового зв'язку для передавання даних через ефір для впровадження 3G.

2. Досліджено характеристики безпроводових мереж 4G LTE. Технологія 4G - покоління мобільного зв'язку з підвищеними вимогами до швидкості передавання. До четвертого покоління прийнято відносити перспективні технології, що дозволяють здійснювати передавання даних зі швидкістю, що перевищує 100 Мбіт/с для рухомих (з високою мобільністю) і 1 Гбіт/с для стаціонарних абонентів (з низькою мобільністю).

3. Порівнюючи ці два покоління, вже на перших етапах можна побачити перевагу 4G. Однак, як вже було сказано, четверте покоління поки що не є повсюдно і зараз найбільшою популярністю все ще користується 3G зв'язок. Сказати, що 4G підтримує 3G - неправильно, так як це дві різні технології, але, як правило, сучасні пристрої, які підтримують четверте покоління, здатні працювати і з 3G покриттям. 4G - це перспективна технологія, яка має масу переваг. Вона тільки розвивається і ще не повністю інтегрована, але за нею стоїть майбутнє.

4. Досліджено особливості роботи з програмним засобом Atoll від компанії Forsk. Atoll – відкрита, масштабована, гнучка мультитехнологічна платформа проектування мережі та її оптимізації, яка підтримує технології безпроводових операторів від початкового проекту мережі до її ущільнення і оптимізації. Atoll підтримує широкий діапазон сценаріїв виконання, від автономного до корпоративного розподіленого

використання конфігурацій усього підприємства і багатопотокові обчислення. Також включає розширені мультитехнологічні засоби планування (GSM/UMTS/LTE, CDMA2000/LTE), комбінований Single-RAN MultiRAT GSM/UMTS/LTE симулятор за методом Монте-Карло.

5. Розраховано основні параметри безпроводової мережі 3G UMTS та 4G LTE для ділянки м. Києва площею 4 км². В результаті розрахунків отримано такі значення основних параметрів мережі:

- кількість абонентів в стільнику: 525 абоненти для 3G UMTS та 504 абоненти для 4G LTE;
- кількість БС: 11 штук для 3G UMTS та 9 штук для 4G LTE;
- радіус стільника: 525 метри для 3G UMTS та 413 метри для 4G LTE.

6. Реалізовано моделювання безпроводової мережі 3G UMTS та 4G LTE в програмному середовищі Atoll. Робота в програмному середовищі Atoll полягає в конвертуванні та завантаженні карт до програмного середовища, у налаштуванні підносійних, визначенні частотних груп, налаштуванні параметрів носійних, створенні терміналів, профілів фіксованих та мобільних користувачів, налаштуванні моделі поширення радіохвиль, завантаженні шаблонів антени та налаштуванні всіх її параметрів, створенні фідеру та створенні стільників і шаблонів користувача. Виконано моделювання безпроводової мережі 3G UMTS та 4G LTE на території площею 4 км² в програмному середовищі Atoll з використанням 9 БС та 11 БС відповідно. За результатами моделювання було виявлено, що технологія 4G LTE забезпечує краще покриття та кращу швидкість передавання на всій території, ніж 3G UMTS. Також для покриття території технологією LTE потрібно менше базових станцій, ніж UMTS, оскільки БС від 4G може обробляти більшу кількість абонентів з більшим радіусом дії, ніж 3G.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Какая разница между 3G и 4G [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.techno-guide.ru/informatsionnye-tehnologii/mobilnaya-svyaz/item/14-kakaya-raznitsa-mezhdu-3g-i-4g.html>
2. Безпроводова мережа 4G [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/4G>
3. How 4G Works [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://electronics.howstuffworks.com/4g.htm/printable>
4. What is the difference between 3G and 4G? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.tccrocks.com/blog/what-is-difference-between-3g-4g/>
5. 4G покритие [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://3gstar.com.ua/4g-pokrytie.html>
6. Тихвинский В.О. Сети мобильной связи LTE: технологии и архитектура / Тихвинский В.О., Терентьев С.В., Юрчук А.Б. – М.: Еко-Трендз, 2010. – 284 с
7. В.Ю. Бабков. Сети мобильной связи. Частотно-территориальное планирование / Бабков В.Ю., Вознюк М.А., П.А. Михайлов. – 2-е изд., испр. – М: Горячая линия-Телеком, 2007. – 224 с.
8. Atoll 3.1.0 User Manual Radio E1-1. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.slideshare.net/ulerkeket/95763406-atoll310usermanuallte>
9. Пілінський В.В. Проектування безпроводових стільникових мереж зв'язку: навчальний посібник для виконання курсової роботи з дисципліни «Телекомунікаційні безпроводові системи» для студентів усіх форм навчання за напрямом підготовки 6.050903 «Телекомунікації» /В.В. Пілінський, П.В. Попович, С.М. Веретюк – К.: Аверс, 2014. – 69 с.
10. Навчальний практикум з кредитного модуля “Безпроводові телекомунікаційні системи – 2. Системи та засоби зв'язку з рухомими об'єктами“. Методичні рекомендації до проведення практичних занять та виконання лабораторних робіт для студентів усіх форм навчання за напрямом підготовки

6.050903 “Телекомунікації” / Укл. В.Г. Абакумов, П.В. Попович, К.О. Трапезон. – К.: Аверс, 2013. – 146 с.

11. Visicom Digital Maps Worldwide [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://visicom.ua/products>

ДОДАТОК А
ABSTRACT

ABSTRACT

3G, short for third generation, is the third generation of wireless mobile telecommunications technology. This is based on a set of standards used for mobile devices and mobile telecommunications use services and networks that comply with the International Mobile Telecommunications-2000 (IMT-2000) specifications by the International Telecommunication Union. 3G finds application in wireless voice telephony, mobile Internet access, fixed wireless Internet access, video calls and mobile TV.

3G telecommunication networks support services that provide an information transfer rate of at least 2 Mbit/s. This ensures it can be applied to wireless voice telephony, mobile Internet access, fixed wireless Internet access, video calls and mobile TV technologies.

The Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) is a third-generation mobile cellular system for networks based on the GSM standard. Developed and maintained by the 3GPP (3rd Generation Partnership Project), UMTS is a component of the International Telecommunications Union IMT-2000 standard set and compares with the CDMA2000 standard set for networks based on the competing cdmaOne technology. UMTS uses wideband code division multiple access (W-CDMA) radio access technology to offer greater spectral efficiency and bandwidth to mobile network operators.

UMTS specifies a complete network system, which includes the radio access network (UMTS Terrestrial Radio Access Network, or UTRAN), the core network (Mobile Application Part, or MAP) and the authentication of users via SIM (subscriber identity module) cards.

The technology described in UMTS is sometimes also referred to as Freedom of Mobile Multimedia Access (FOMA) or 3GSM.

Unlike EDGE (IMT Single-Carrier, based on GSM) and CDMA2000 (IMT Multi-Carrier), UMTS requires new base stations and new frequency allocations.

4G is the fourth generation of mobile telecommunications technology, succeeding 3G. A 4G system must provide capabilities defined by ITU in IMT Advanced. Potential

and current applications include amended mobile web access, IP telephony, gaming services, high-definition mobile TV, video conferencing, and 3D television.

The first-release Long Term Evolution (LTE) standard (a 4G candidate system) has been commercially deployed in Oslo, Norway, and Stockholm, Sweden since 2009.

In telecommunication, Long-Term Evolution (LTE) is a standard for high-speed wireless communication for mobile phones and data terminals, based on the GSM/EDGE and UMTS/HSPA technologies. It increases the capacity and speed using a different radio interface together with core network improvements.

LTE is the upgrade path for carriers with both GSM/UMTS networks and CDMA2000 networks. The different LTE frequencies and bands used in different countries mean that only multi-band phones are able to use LTE in all countries where it is supported.

LTE is commonly marketed as 4G LTE, but it does not meet the technical criteria of a 4G wireless service, as specified in the 3GPP Release 8 and 9 document series, for LTE Advanced. The requirements were originally set forth by the ITU-R organization in the IMT Advanced specification. However, due to marketing pressures and the significant advancements that WiMAX, Evolved High Speed Packet Access and LTE bring to the original 3G technologies, ITU later decided that LTE together with the aforementioned technologies can be called 4G technologies. The LTE Advanced standard formally satisfies the ITU-R requirements to be considered IMT-Advanced. To differentiate LTE Advanced and WiMAX-Advanced from current 4G technologies, ITU has defined them as "True 4G".

The access technology used in the LTE downlink is called orthogonal frequency division multiple access (OFDMA), data in OFDMA is transmitted on many subcarriers in parallel. At the point of transmission there is no interference between subcarriers, and subcarriers can therefore in principle be allocated freely to users. However, for practical reasons, the allocation to a single user is always an integer number of blocks consisting of 12 consecutive subcarriers. Such a block allocated in one 0.5 ms slot is called a resource block (RB) and has a bandwidth of 180 kHz. Subcarriers in OFDMA are spaced 15 kHz apart, seemingly allowing for 15 symbols per subframe. However, there are

typically 14 OFDM symbols per millisecond. This discrepancy is explained by the addition of a “cyclic prefix”, used to guarantee orthogonality in time-dispersive environments; see section.

The overhead is close to 7% in the shown configuration. It follows that the channel symbol rate per RB is 168 ksps (12×14). The maximum bit rate depends on the choice of modulation scheme, the choice of antenna transmission scheme (use or non-use of MIMO), the number of RBs allocated, and the overhead in terms of reference symbols, synchronization symbols, etc. In practice, it can generally (with some exceptions) be assumed that the total RBS power available is shared equally across a 11 RBs, whether they are used or not. Note that for a given resource block there is little or no inter-cell interference, provided that the RB in question is not used by any of the neighboring cells. The probability of an RB being interfered by other cells thus depends on the average downlink load in the network.

The main differences between 3G and 4G. They are both mobile data connections, but 3G is an older technology that usually delivers slower speeds. 4G is a newer technology that has the capacity to deliver faster speeds.

- 4G can reach speeds of up to 50Mbps – 10 times faster than most 3G connections
- 4GX or 4G LTE and beyond can reach speeds upwards of 400mbps
- 3G is available in more places. You will tend to find the best 4G coverage in densely populated areas such as your nearest CBD, but in rural locations 3G is still king
- 4G networks can only be used with newer 4G compatible mobile phones. Older models may only be compatible with 3G networks
- The difference in speeds is even more pronounced the larger the file. If downloading movies or trying to maintain a HD Netflix stream, you may notice a big difference.

While 3G and 4G essentially serve the same purpose, 4G is vastly superior to 3G in most situations. There are only two real possible downsides to using 4G:

- It drains more of your battery than 3G does
- You may use more data due to the higher speeds, especially if the 4G connection in your home is faster than your internet

Comparing these two generations, in the early stages you can see the advantage of 4G. However, as already mentioned, the fourth generation is not yet universal and is still the most popular 3G connection. To say that 4G supports 3G is incorrect, since these are two different technologies, but, as a rule, modern devices that support the fourth generation, capable of working with 3G coverage. 4G is a promising technology that has a lot of advantages. It only develops and is not yet fully integrated, but it has a future for it.

Atoll is a multi-technology wireless network design and optimisation platform that supports wireless operators throughout the network lifecycle, from initial design to densification and optimisation.

Multi-technology Network Modelling. Atoll is a comprehensive multi-technology radio planning and optimisation platform, which includes unified multi-technology GSM/UMTS/LTE (3GPP) and CDMA/LTE (3GPP2) traffic models, Monte Carlo simulators, and ACP (Automatic Cell Planning) module. Atoll can model the traffic related aspects of multi-technology networks and dynamically spread and offload traffic between multi-technology Hetnet layers including Wi-Fi and small cells.

In-built Automation and Customisation Capabilities. Atoll's in-built task automation and integration capabilities enable data as well as service-level integration, allowing operators to automate and streamline network optimisation activities on the way to SON. Atoll's data exchange and integration capabilities enable integration within service-oriented architectures (SOA) and enterprise service buses (ESB). Moreover, Atoll's C++ software development kit (SDK) allows customisation and implementation of functional value-added modules for Atoll.

Atoll's integration and automation features help operators smoothly automate planning and optimisation processes through flexible scripting and SOA-based mechanisms. Atoll supports a wide range of implementation scenarios, from standalone to enterprise-wide server-based configurations.

Atoll as well as all its components and modules are native 64-bit applications with no restrictions on project size and memory usage. Atoll provides limitless possibilities and enhanced performance in demanding situations such as multitechnology Monte Carlo simulations as well as urban and network-wide predictions. Atoll 64-bit architecture allows operators to cope with complex multi-technology networks, and to successfully deal with the dramatic increase in network density expected with the advent of HetNets and small cells.

High Performance GIS. Atoll incorporates a high-performance built-in geographic information system (GIS) exclusively designed for radio network planning and optimisation. Atoll's 64-bit GIS engine allows working with high-resolution and large-scale geo data while delivering high performance in data manipulation and display. Atoll supports web map services, online map servers (Google, Bing, etc.), and industry-standard formats including BIL, TIF, BMP, Vertical Mapper, ArcView, MapInfo, etc. Atoll smoothly interfaces with commonly used desktop GIS such as MapInfo and ArcView.

Multi-technology Network Modelling. Atoll is a comprehensive multi-technology radio planning and optimisation platform, which includes unified multi-technology GSM/UMTS/LTE (3GPP) and CDMA/LTE (3GPP2) traffic models, Monte Carlo simulators, and ACP (Automatic Cell Planning) module. Atoll can model the traffic related aspects of multi-technology networks and dynamically spread and offload traffic between multi-technology Hetnet layers including Wi-Fi and small cells.

In-built Automation and Customisation Capabilities. Atoll's in-built task automation and integration capabilities enable data as well as service-level integration, allowing operators to automate and streamline network optimisation activities on the way to SON. Atoll's data exchange and integration capabilities enable integration within service-oriented architectures (SOA) and enterprise service buses (ESB). Moreover, Atoll's C++ software development kit (SDK) allows customisation and implementation of functional value-added modules for Atoll.

Once you have created the network, Atoll offers many tools to let you verify the network. Based on the results of your tests, you can modify any of the parameters defining

the network. Allocating neighbours and scrambling codes is also explained. In this section, you will also find information on how you can display information on base stations on the map and how you can use the tools in Atoll study base stations and how creating simulations using the traffic map information and analysing the results of simulations.

You can start an Atoll document from a template, with no sites, or from a database with a set of sites. As you work on your Atoll document, you will still need to create sites and modify existing ones. In Atoll, a site is defined as a geographical point where one or more transmitters are located. Once you have created a site, you can add transmitters. In Atoll, a transmitter is defined as the antenna and any other additional equipment, such as the TMA, feeder cables, etc.

In a UMTS project, you must also add cells to each transmitter. A cell refers to the characteristics of a carrier on a transmitter.

Atoll lets you create one site, transmitter, or cell at a time, or create several at once by creating a station template. Using a station template, you can create one or more base stations at the same time. In Atoll, a base station refers to a site with its transmitters, antennas, equipment, and cells. Atoll allows you to make a variety of coverage predictions, such as signal level or transmitter coverage predictions. The results of calculated coverage predictions can be displayed on the map, compared, or studied. Atoll enables you to model network traffic by allowing you to create services, users, user profiles, environments, and terminals. This data can be then used to make quality studies, such as effective service area, noise, or handover status predictions, on the network.

In communication and computer network research, network simulation is a technique where a program models the behaviour of a network either by calculating the interaction between the different network entities (hosts/packets, etc.) using mathematical formulas, or actually capturing and playing back observations from a production network. The behaviour of the network and the various applications and services it supports can then be observed in a test lab; various attributes of the environment can also be modified in a controlled manner to assess how the network would behave under different conditions. When a simulation program is used in conjunction with live applications and

services in order to observe end-to-end performance to the user desktop, this technique is also referred to as network emulation.

A network simulator is a piece of software or hardware that predicts the behaviour of a network, without an actual network being present. A network simulator is a software program that imitates the working of a computer network. In simulators, the computer network is typically modelled with devices, traffic etc. and the performance is analysed. Typically, users can then customize the simulator to fulfil their specific analysis needs.

Modelling and simulation methods are employed by scientists and engineers to gain insight into system behaviour that can lead to faster product time-to-market and more designs that are robust. These advantages come at the cost of model development time and the potential for questionable results because the model represents limited attributes of the actual system. Modelling and simulation techniques are used to characterize complex interactions and performance at various layers of the protocol stack.